



**ITS**

Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TE 141599

OTOMATISASI PERHITUNGAN *TIME DIAL SETTING* &  
PEMILIHAN KURVA *TIME-CURRENT CHARACTERISTIC*  
PROTEKSI RELE ARUS LEBIH *INVERSE* MENGGUNAKAN  
*NUMERICAL COMPUTATION* PADA SISTEM RADIAL PT  
PUPUK KALIMANTAN TIMUR

Aditya Indrasaputra  
NRP 07111440000196

Dosen Pembimbing  
Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.  
Dedet C. Riawan, ST., M.Eng, Ph.D.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknologi Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2018



TUGAS AKHIR - TE 141599

OTOMATISASI PERHITUNGAN *TIME DIAL SETTING* &  
PEMILIHAN KURVA *TIME-CURRENT CHARACTERISTIC*  
PROTEKSI RELE ARUS LEBIH *INVERSE* MENGGUNAKAN  
*NUMERICAL COMPUTATION* PADA SISTEM RADIAL PT  
PUPUK KALIMANTAN TIMUR

Aditya Indrasaputra  
NRP 07111440000196

Dosen Pembimbing  
Dr. Ir. Margo Pujiانتara, MT.  
Dedet C. Riawan, ST., M. Eng, Ph. D.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknologi Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2018



FINAL PROJECT - TE 141599

*AUTOMATION OF TIME DIAL SETTING CALCULATION  
& TIME-CURRENT CHARACTERISTIC CURVE  
SELECTION FOR INVERSE OVERCURRENT RELAY  
PROTECTION USING NUMERICAL COMPUTATION IN  
PT PUPUK KALIMANTAN TIMUR RADIAL SYSTEM*

Aditya Indrasaputra  
NRP 07111440000196

Supervisors  
Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.  
Dedet C. Riawan, ST., M.Eng, Ph.D.

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING  
Faculty of Electrical Technology  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2018



**OTOMATISASI PERHITUNGAN *TIME DIAL SETTING* &  
PEMILIHAN KURVA *TIME-CURRENT CHARACTERISTIC*  
PROTEKSI RELE ARUS LEBIH *INVERSE* MENGGUNAKAN  
*NUMERICAL COMPUTATION* PADA SISTEM RADIAL PT  
PUPUK KALIMANTAN TIMUR**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada  
Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga  
Departemen Teknik Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember


Menyetujui :

Dosen Pembimbing I



Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.  
NIP. 196603181990101001

Dosen Pembimbing II



Dedet C. Riawan, ST., M.Eng., Ph.D  
NIP. 197311192000031001



## **PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR**

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi keseluruhan Tugas akhir saya dengan judul “OTOMATISASI PERHITUNGAN TIME DIAL SETTING & PEMILIHAN KURVA TIME-CURRENT CHARACTERISTIC PROTEKSI RELE ARUS LEBIH INVERSE MENGGUNAKAN *NUMERICAL COMPUTATION* PADA SISTEM RADIAL PT PUPUK KALIMANTAN TIMUR” adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Juli 2018

Aditya Indrasaputra  
07111440000196

*Halaman ini sengaja dikosongkan*





# **OTOMATISASI PERHITUNGAN TIME DIAL SETTING & PEMILIHAN KURVA *TIME-CURRENT* *CHARACTERISTIC* PROTEKSI RELE ARUS LEBIH *INVERSE* MENGGUNAKAN *NUMERICAL* *COMPUTATION* PADA SISTEM RADIAL PT PUPUK KALIMANTAN TIMUR**

Nama mahasiswa : Aditya Indrasaputra  
Dosen Pembimbing I : Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.  
Dosen Pembimbing II : Dedet C. Riawan, ST.,M.Eng,Ph.D.

## **Abstrak:**

PT Pupuk Kalimantan Timur yang menggunakan sistem distribusi radial dengan komponen kelistrikan yang sangat kompleks dan memerlukan perhatian lebih pada segi koordinasi proteksi sistem kelistrikannya. Pada koordinasi proteksi rele arus lebihnya sendiri, PT Pupuk Kalimantan Timur masih memerlukan banyak pembaharuan dan juga peningkatan kualitas dari rele pengaman tersebut. Oleh sebab itu diusulkan topik tugas akhir ini sebagai metode pembantu setting sistem koordinasi proteksi pada PT Pupuk Kalimantan Timur ataupun pengembangan pada sistem proteksi rele arus lebih kedepannya.

Penggunaan algoritma *Numerical Computation* pada topik ini dikhususkan untuk mempermudah perhitungan nilai Time Dial Setting (TDS) dan pemilihan bentuk kurva Time-Current Characteristic (TCC) untuk setting rele arus lebih inverse pada sistem kelistrikan PT Pupuk Kalimantan Timur. Fungsi tugas akhir ini digunakan untuk memudahkan dan mengotomatisasi perhitungan nilai kerja rele arus lebih guna meminimalisir kerusakan yang diakibatkan oleh gangguan yang terjadi pada sistem.

**Kata kunci:** (*koordinasi proteksi, rele arus lebih, pemilihan kurva, perhitungan TDS, komputasi numerik*)

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

***AUTOMATION OF TIME DIAL SETTING  
CALCULATION & TIME-CURRENT  
CHARACTERISTIC CURVE SELECTION FOR  
INVERSE OVERCURRENT RELAY PROTECTION  
USING NUMERICAL COMPUTATION IN PT PUPUK  
KALIMANTAN TIMUR RADIAL SYSTEM***

Student Name : Aditya Indrasaputra  
Supervisor I : Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.  
Supervisor II : Dedet C. Riawan, ST.,M.Eng,Ph.D.

**Abstract:**

*PT Pupuk Kalimantan Timur which uses radial distribution system with very complex electrical components and requires more attention on the coordination of its electrical system protection. In coordination of its own relay protection, PT Pupuk Kalimantan Timur still requires a lot of renewal as well as improved quality of these safety releases. Therefore, it is proposed as this final project topic as a method of setting of coordination protection system in PT Pupuk Kalimantan Timur or developing on overcurrent protection system more in the future. The use of Numerical computation algorithm on this topic is devoted to simplify the calculation of Time Dial Setting (TDS) values and the selection of Time-Current Characteristic (TCC) curves for inverse overcurrent relay settings in PT Pupuk Kalimantan Timur's electricity system. This final project function is used to facilitate and automate the calculation of the overcurrent relay which aim to minimize the damage caused by interference and faults that occur in the system.*

**Key Word:** (protection coordination, overcurrent relay, curve selection, TDS calculation, numerical computation)

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## KATA PENGANTAR

Puji Syukur penulis panjatkan kehadirat Tuhan, atas rahmat dan kasih-Nya penulis mampu menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “Otomatisasi Perhitungan *Time Dial Setting* & Pemilihan Kurva *Time-Current Characteristic* Proteksi Rele Arus Lebih *Inverse* Menggunakan *Numerical computation* Pada Sistem Radial PT Pupuk Kalimantan Timur”.

Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan jenjang pendidikan S1 pada Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga, Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Atas selesainya penyusunan tugas akhir ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah Bapa, Putra, dan Roh Kudus atas kasih yang begitu melimpah yang diberikan pada penulis.
2. Bonaventura Bambang Saptardjo dan Chatarina Endah Winarti sebagai orang tua penulis yang telah memberikan dukungan yang tak terhingga sehingga penulis mampu menyelesaikan tugas akhir ini.
3. Bapak Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT., dan Bapak Dedet C. Riawan, S.T., M.Eng., Ph.D. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan arahan, bimbingan dan perhatiannya selama proses penyelesaian tugas akhir ini.
4. Seluruh dosen dan karyawan Departemen Teknik Elektro ITS yang telah memberikan banyak ilmu dan menciptakan suasana belajar yang luar biasa.
5. Teman-teman seperjuangan e54 yang telah menemani dan memberikan dukungan selama masa kuliah sampai penyusunan tugas akhir ini.
6. Teman-teman Laboratorium Instrumentasi Pengukuran dan Identifikasi Sistem Tenaga yang selalu membantu penulis dalam hal akademik hingga penulisan tugas akhir ini.
7. Tim tugas akhir proteksi, Guntur, Ardi, dan Qiput yang senantiasa membantu dan bertukar ilmu dalam penulisan reset ini.
8. Teman-teman Kosan Pak Danu (Bagas, Adit, Odi, Zico, Ocep) yang telah menemani keseharian penulis selama menuntut ilmu di ITS.

9. Teman-teman HIMATEKTRO dan Tim Kaderisasi 2015-2017 yang turut memberikan pengalaman berharga bagi penulis selama penulis menyelesaikan perkuliahan di Teknik Elektro ITS.

10. Teman-teman Gonzaga ITS 2014 yang telah menjadi teman merantau penulis dalam rangka menuntut ilmu di Surabaya.

Besar harapan penulis bahwa hasil tugas akhir ini mampu memberikan dampak positif baik bagi riset-riset berikutnya atau bagi pihak yang membutuhkan. Manusia pasti berbuah salah, tetapi penulis berharap adanya koreksi, kritik, dan saran yang mampu menyempurnakan tugas akhir ini dimasa mendatang.

Surabaya, Juli 2018

Aditya Indrasaputra

## DAFTAR ISI

<b>Abstrak</b> .....	i
<b>Abstract</b> .....	iii
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	v
<b>DAFTAR ISI</b> .....	vii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	ix
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xi
<b>BAB 1 PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Permasalahan .....	1
1.3 Tujuan .....	2
1.4 Batasan Masalah .....	2
1.5 Metodologi .....	2
1.6 Sistematika Penulisan .....	3
1.7 Relevansi .....	4
<b>BAB 2 KAJIAN PUSTAKA</b> .....	5
2.1 Proteksi terhadap Gangguan .....	5
2.1.1 Perhitungan Hubung Singkat .....	5
2.1.2 Jenis-jenis Hubung Singkat .....	7
2.2 Tipe Rele dan Faktor Pemilihan Rele .....	8
2.3 Rele Arus Lebih .....	9
2.4 Tipe Kurva Rele Arus Lebih .....	10
2.4.1 Kurva Rele Arus Lebih Waktu Instan .....	11
2.4.2 Kurva Rele Arus Lebih Waktu Tertentu .....	11
2.4.3 Kurva Rele Arus Lebih Waktu <i>Inverse</i> .....	11
2.4.4 Skema Koordinasi Proteksi .....	13
2.5 <i>Numerical computation</i> .....	14
2.6 Coordination Time Interval (CTI) .....	14
<b>BAB 3 SISTEM KELISTRIKAN PT PUPUK KALIMANTAN TIMUR DAN PERANCANGAN NUMERICAL COMPUTATION</b> .....	15
3.1 Perancangan Otomatisasi Koordinasi Rele .....	15
3.2 Perancangan <i>Numerical computation</i> .....	16
3.2.1 Formulasi Permasalahan pada Program Tugas Akhir .....	17
3.2.2 Algoritma <i>Numerical computation</i> .....	18
3.3 Sistem Kelistrikan PT. Pupuk Kalimantan Timur .....	22
3.4 Pembangkitan, dan Pembebanan PT Pupuk Kalimantan Timur ...	22

3.5 Kapasitas Pembangkitan PT Pupuk Kalimantan Timur.....	23
3.6 Sistem Distribusi pada PT Pupuk Kalimantan Timur.....	24
3.7 Data Sistem Proteksi Eksisting Tanjung Harapan .....	25
<b>BAB 4 HASIL SIMULASI DAN ANALISIS PROGRAM NUMERICAL COMPUTATION KOORDINASI PROTEKSI PT PUPUK KALIMANTAN TIMUR PABRIK TANJUNG HARAPAN .....</b>	<b>27</b>
4.1 Skema Koordinasi Proteksi pada Tanjung Harapan <i>Island</i> .....	27
4.1.1 Tipikal 1 : Tanjung Harapan (Beban Terbesar Menuju <i>Outgoing Ring</i> ) .....	27
4.1.2 Tipikal 2 : Tanjung Harapan (Beban Terjauh Menuju <i>Main Bus</i> Distribusi).....	28
4.1.3 Tipikal 3 : Tanjung Harapan ( <i>Main Bus</i> Distribusi Menuju Generator) .....	29
4.2 Data Sistem Proteksi Eksisting Tanjung Harapan <i>Island</i> .....	30
4.2.1 Data Sistem Proteksi Eksisting Tipikal 1 .....	30
4.2.2 Data Sistem Proteksi Eksisting Tipikal 2 .....	38
4.2.3 Data Sistem Proteksi Eksisting Tipikal 3 .....	44
4.3 Perhitungan TDS dan Pemilihan Kurva dengan <i>Numerical computation</i> pada Sistem Kelistrikan Tanjung Harapan Island .....	50
4.3.1 Perhitungan TDS dan Pemilihan Kurva Tipikal 1 dengan <i>Numerical computation</i> .....	51
4.3.2 Perhitungan TDS dan Pemilihan Kurva Tipikal 2 dengan <i>Numerical computation</i> .....	61
4.3.3 Perhitungan TDS dan Pemilihan Kurva Tipikal 3 dengan <i>Numerical computation</i> .....	68
4.4 Analisis Hasil Perhitungan <i>Numerical computation</i> dengan Perhitungan Sistem Kelistrikan Eksisting.....	76
<b>BAB 5 KESIMPULAN .....</b>	<b>79</b>
5.1 Kesimpulan.....	79
5.2 Saran .....	79
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>81</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>83</b>
<b>BIODATA PENULIS .....</b>	<b>95</b>



## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2. 1</b>	Rangkaian Ekivalen untuk Menghitung Arus pada Kondisi Normal .....	6
<b>Gambar 2. 2</b>	Rangkaian Ekivalen untuk Menghitung Arus Hubung Singkat .....	7
<b>Gambar 2. 3</b>	Cara Kerja Rele Arus Lebih pada Rangkaian [3].....	10
<b>Gambar 2. 4</b>	Rele Arus Lebih Waktu Tertentu .....	11
<b>Gambar 2. 5</b>	Rele Arus Lebih Waktu Tertentu .....	11
<b>Gambar 2. 6</b>	Skema Koordinasi Proteksi.....	13
<b>Gambar 3. 1</b>	<i>Single Line Diagram</i> Otomatisasi Gangguan Bus 1 .....	15
<b>Gambar 3. 2</b>	<i>Single Line Diagram</i> Otomatisasi Gangguan Bus 2 .....	16
<b>Gambar 3. 3</b>	Alur Perhitungan Program <i>Numerical computation</i> .....	21
<b>Gambar 3. 4</b>	<i>Single Line Diagram</i> Sistem Kelistrikan PT Pupuk Kalimantan Timur .....	22
<b>Gambar 3. 5</b>	<i>Single Line Diagram</i> Tanjung Harapan .....	24
<b>Gambar 4. 1</b>	Skema Koordinasi Tipikal 1 Tanjung Harapan Island ....	28
<b>Gambar 4. 2</b>	Skema Koordinasi Tipikal 2 Tanjung Harapan Island ....	29
<b>Gambar 4. 3</b>	Skema Koordinasi Tipikal 3 Tanjung Harapan Island ....	30
<b>Gambar 4. 4</b>	Skema Koordinasi Proteksi Tipikal 1 .....	31
<b>Gambar 4. 5</b>	Tipikal 1 Hubung Singkat 3 Fasa 0,5 <i>Cycle</i> pada Bus SG-CBP.....	34
<b>Gambar 4. 6</b>	Tipikal 1 Hubung Singkat 3 Fasa 0,5 <i>Cycle</i> pada Bus478 .....	35
<b>Gambar 4. 7</b>	Tipikal 1 Hubung Singkat 3 Fasa 0,5 <i>Cycle</i> pada Bus TH-SG-01 .....	36
<b>Gambar 4. 8</b>	Tipikal 1 Hubung Singkat 3 Fasa 0,5 <i>Cycle</i> pada Bus2 ..	37
<b>Gambar 4. 9</b>	Skema Koordinasi Proteksi Tipikal 2 .....	39
<b>Gambar 4. 10</b>	Tipikal 2 Hubung Singkat 3 Fasa 0,5 <i>Cycle</i> pada Bus UBS6-PKT .....	41
<b>Gambar 4. 11</b>	Tipikal 2 Hubung Singkat 3 Fasa 0,5 <i>Cycle</i> pada Bus TH-SG-11 .....	42
<b>Gambar 4. 12</b>	Tipikal 2 Hubung Singkat 3 Fasa 0,5 <i>Cycle</i> pada Bus480 .....	43
<b>Gambar 4. 13</b>	Skema Koordinasi Proteksi Tipikal 3 .....	45

<b>Gambar 4. 14</b> Tipikal 3 Hubung Singkat 3 Fasa 0,5 <i>Cycle</i> pada Bus TH-SG-01 .....	47
<b>Gambar 4. 15</b> Tipikal 3 Hubung Singkat 3 Fasa 0,5 <i>Cycle</i> pada Bus471 .....	48
<b>Gambar 4. 16</b> Tipikal 3 Hubung Singkat 3 Fasa 0,5 <i>Cycle</i> pada 03-SG- 101 .....	49
<b>Gambar 4. 17</b> Input Data Tipikal 1 <i>Numerical computation</i> .....	53
<b>Gambar 4. 18</b> <i>Setting</i> Rele 1 Tipikal 1 .....	53
<b>Gambar 4. 19</b> <i>Setting</i> Rele 2 Tipikal 1 .....	54
<b>Gambar 4. 20</b> Kurva Koordinasi Rele 1 & Rele 2 Tipikal 1 .....	55
<b>Gambar 4. 21</b> <i>Setting</i> Rele 3 Tipikal 1 .....	56
<b>Gambar 4. 22</b> Kurva Koordinasi Rele 2 & Rele 3 Tipikal 1 .....	56
<b>Gambar 4. 23</b> <i>Setting</i> Rele 4 Tipikal 1 .....	57
<b>Gambar 4. 24</b> Kurva Koordinasi Rele 3 & Rele 4 Tipikal 1 .....	57
<b>Gambar 4. 25</b> Koordinasi Rele 1 dan Rele 2 Tipikal 1 .....	58
<b>Gambar 4. 26</b> Koordinasi Rele 2 dan Rele 3 Tipikal 1 .....	59
<b>Gambar 4. 27</b> Koordinasi Rele 3 dan Rele 4 Tipikal 1 .....	60
<b>Gambar 4. 28</b> Input Data Tipikal 2 <i>Numerical computation</i> .....	62
<b>Gambar 4. 29</b> <i>Setting</i> Rele 1 Tipikal 2 .....	63
<b>Gambar 4. 30</b> <i>Setting</i> Rele 2 Tipikal 2 .....	64
<b>Gambar 4. 31</b> Kurva Koordinasi Rele 1 & Rele 2 Tipikal 2 .....	64
<b>Gambar 4. 32</b> <i>Setting</i> Rele 3 Tipikal 2 .....	65
<b>Gambar 4. 33</b> Kurva Koordinasi Rele 2 & Rele 3 Tipikal 2 .....	65
<b>Gambar 4. 34</b> Koordinasi Rele 1 dan Rele 2 Tipikal 2 .....	66
<b>Gambar 4. 35</b> Koordinasi Rele 2 dan Rele 3 Tipikal 2 .....	67
<b>Gambar 4. 36</b> Input Data Tipikal 3 <i>Numerical computation</i> .....	69
<b>Gambar 4. 37</b> <i>Setting</i> Rele 1 Tipikal 3 .....	70
<b>Gambar 4. 38</b> <i>Setting</i> Rele 2 Tipikal 3 .....	71
<b>Gambar 4. 39</b> Kurva Koordinasi Rele 1 & Rele 2 Tipikal 3 .....	71
<b>Gambar 4. 40</b> <i>Setting</i> Rele 3 Tipikal 3 .....	72
<b>Gambar 4. 41</b> Kurva Koordinasi Rele 2 & Rele 3 Tipikal 3 .....	73
<b>Gambar 4. 42</b> Koordinasi Rele 1 dan Rele 2 Tipikal 3 .....	74
<b>Gambar 4. 43</b> Koordinasi Rele 2 dan Rele 3 Tipikal 3 .....	75

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2. 1</b> Koefisien Kurva Rele <i>Inverse</i> Sepam 1000.....	12
<b>Tabel 2. 2</b> Koefisien Kurva Rele <i>Inverse</i> ABB Ref542Plus dan ABB SPAJ140C .....	12
<b>Tabel 2. 3</b> Waktu CTI Rele.....	14
<b>Tabel 3. 1</b> Rangkuman Data Pembangkitan, dan Pembebanan PT Pupuk Kalimantan Timur .....	23
<b>Tabel 3. 2</b> Rangkuman Kapasitas Pembangkitan PT Pupuk Kalimantan Timur.....	23
<b>Tabel 3. 3</b> Data Rele Arus Lebih Tanjung Harapan .....	25
<b>Tabel 3. 3</b> Data Rele Arus Lebih Tanjung Harapan (Lanjutan).....	26
<b>Tabel 4. 1</b> Data Eksisting Rele Tipikal 1 .....	32
<b>Tabel 4. 2</b> Data Arus Hubung Singkat Tiga Fasa 0,5 <i>Cycle</i> pada Bus SG-CBP.....	32
<b>Tabel 4. 2</b> Data Arus Hubung Singkat Tiga Fasa 0,5 <i>Cycle</i> pada Bus SG-CBP (Lanjutan).....	33
<b>Tabel 4. 3</b> Data Arus Hubung Singkat Tiga Fasa 0,5 <i>Cycle</i> pada Bus Bus478 .....	33
<b>Tabel 4. 4</b> Data Arus Hubung Singkat Tiga Fasa 0,5 <i>Cycle</i> pada Bus TH-SG-01.....	33
<b>Tabel 4. 5</b> Data Arus Hubung Singkat Tiga Fasa 0,5 <i>Cycle</i> pada Bus2	33
<b>Tabel 4. 6</b> Data Waktu Operasi Tipikal 1 SC Bus SG-CBP .....	37
<b>Tabel 4. 7</b> Data Waktu Operasi Tipikal 1 SC Bus Bus478.....	38
<b>Tabel 4. 8</b> Data Waktu Operasi Tipikal 1 SC Bus TH-SG-01 .....	38
<b>Tabel 4. 9</b> Data Waktu Operasi Tipikal 1 SC Bus Bus2.....	38
<b>Tabel 4. 10</b> Data Eksisting Rele Tipikal 2.....	39
<b>Tabel 4. 10</b> Data Eksisting Rele Tipikal 2 (Lanjutan) .....	40
<b>Tabel 4. 11</b> Data Arus Hubung Singkat Tiga Fasa 0,5 <i>Cycle</i> pada Bus UBS6-PKT .....	40
<b>Tabel 4. 12</b> Data Arus Hubung Singkat Tiga Fasa 0,5 <i>Cycle</i> pada Bus TH-SG-11 .....	40
<b>Tabel 4. 13</b> Data Arus Hubung Singkat Tiga Fasa 0,5 <i>Cycle</i> pada Bus Bus480.....	40
<b>Tabel 4. 14</b> Data Waktu Operasi Tipikal 2 SC Bus UBS6-PKT .....	43

<b>Tabel 4. 15</b>	Data Waktu Operasi Tipikal 2 SC Bus TH-SG-11.....	44
<b>Tabel 4. 16</b>	Data Waktu Operasi Tipikal 2 SC Bus480.....	44
<b>Tabel 4. 17</b>	Data Eksisting Rele Tipikal 3 .....	45
<b>Tabel 4. 17</b>	Data Eksisting Rele Tipikal 3 (Lanjutan).....	46
<b>Tabel 4. 18</b>	Data Arus Hubung Singkat Tiga Fasa 0,5 <i>Cycle</i> pada Bus TH-SG-01 .....	46
<b>Tabel 4. 19</b>	Data Arus Hubung Singkat Tiga Fasa 0,5 <i>Cycle</i> pada Bus471 .....	46
<b>Tabel 4. 20</b>	Data Arus Hubung Singkat Tiga Fasa 0,5 <i>Cycle</i> pada 03- SG-101 .....	46
<b>Tabel 4. 21</b>	Data Waktu Operasi Tipikal 3 SC Bus TH-SG-01, Bus471, Bus 03-SG-101 .....	49
<b>Tabel 4. 22</b>	Tabel Input Tipikal 1 <i>Numerical computation</i> .....	52
<b>Tabel 4. 23</b>	Waktu Operasi Rele 1 Tipikal 1 .....	53
<b>Tabel 4. 24</b>	Waktu Operasi Rele 2 Tipikal 1 .....	54
<b>Tabel 4. 25</b>	Waktu Operasi Rele 3 Tipikal 1 .....	55
<b>Tabel 4. 26</b>	Waktu Operasi Rele 4 Tipikal 1 .....	56
<b>Tabel 4. 27</b>	Tabel Input Tipikal 2 <i>Numerical computation</i> .....	62
<b>Tabel 4. 28</b>	Waktu Operasi Rele 1 Tipikal 2 .....	63
<b>Tabel 4. 29</b>	Waktu Operasi Rele 2 Tipikal 2 .....	63
<b>Tabel 4. 30</b>	Waktu Operasi Rele 2 Tipikal 2 .....	64
<b>Tabel 4. 30</b>	Waktu Operasi Rele 2 Tipikal 2 (Lanjutan) .....	65
<b>Tabel 4. 31</b>	Tabel Input Tipikal 2 <i>Numerical computation</i> .....	69
<b>Tabel 4. 32</b>	Waktu Operasi Rele 1 Tipikal 3 .....	70
<b>Tabel 4. 33</b>	Waktu Operasi Rele 2 Tipikal 3 .....	70
<b>Tabel 4. 34</b>	Waktu Operasi Rele 3 Tipikal 3 .....	72
<b>Tabel 4. 35</b>	Perbandingan Hasil Waktu Operasi Tipikal 1 .....	76
<b>Tabel 4. 36</b>	Perbandingan Hasil Waktu Operasi Tipikal 2 .....	77
<b>Tabel 4. 37</b>	Perbandingan Hasil Waktu Operasi Tipikal 3 .....	77
<b>Tabel 4. 37</b>	Perbandingan Hasil Waktu Operasi Tipikal 3 (Lanjutan) ..	78





# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Sektor industri yang terus berkembang sesuai dengan perubahan zaman, menuntut sistem kelistrikan pada suatu perusahaan untuk bekerja secara optimal. Sistem proteksi kelistrikan pada suatu perusahaan merupakan bagian yang sangat vital, karena dengan adanya sistem proteksi yang baik dapat mengurangi resiko terjadinya kerusakan pada peralatan bahkan dapat mencegah terjadinya *blackout*. Oleh sebab itulah diperlukan studi lanjutan mengenai proteksi sistem tenaga listrik pada suatu perusahaan.

Pada aplikasinya, proteksi sistem tenaga listrik memerlukan beberapa komponen utama. Salah satunya adalah rele arus lebih. Dimana pada komponen rele arus lebih ini ada beberapa nilai utama yang harus dipahami dan diatur sedemikian rupa sehingga mampu mengamankan sistem ketika terjadi gangguan. Rele arus lebih inilah yang akan memicu terbukanya *Circuit Breaker* (CB) dengan mengirimkan sinyal operasi sehingga CB dapat terbuka dan memutus gangguan. Tujuan utama dari proteksi dan koordinasi sistem tenaga adalah untuk membatasi durasi dari waktu gangguan ketika terjadi kegagalan peralatan, *human error*, atau kejadian alami yang berpengaruh pada sistem dan untuk meminimalisir kerusakan pada komponen sistem akibat kegagalan[1].

Penggunaan *numerical computation* pada tugas akhir ini ditujukan untuk mempermudah dan mempersingkat waktu pengerjaan *setting* rele arus lebih *inverse* pada sistem radial suatu sistem kelistrikan. Dimana dengan adanya tugas akhir ini diharapkan dapat membantu banyak orang terutama para *electrical engineer* dalam menentukan parameter pengaturan rele arus lebih *inverse* dengan mudah.

### 1.2 Permasalahan

Permasalahan yang ada akan dibahas pada tugas akhir ini adalah :

1. Menentukan parameter koordinasi proteksi arus lebih pada PT Pupuk Kalimantan Timur.
2. Mengaplikasikan penggunaan algoritma *Numerical computation* untuk menghitung nilai dari TDS rele arus lebih dan pemilihan tipe kurva TCC.

### 1.3 Tujuan

Penelitian tugas akhir ini bertujuan untuk :

1. Mendesain serta memodelkan, mensimulasikan, dan juga menganalisa sistem proteksi kelistrikan yang ada pada PT Pupuk Kalimantan Timur.
2. Pembuatan aplikasi berbasis *numerical computation* untuk mengotomatisasi penentuan waktu setting TDS dan pemilihan jenis kurva TCC terbaik pada sistem kelistrikan di PT Pupuk Kalimantan Timur.

### 1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah yang dibahas pada topik tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Pengaturan hanya dilakukan pada rele arus lebih pada tipikal yang ditentukan.
2. Pengaturan hanya pada kurva *inverse* rele arus lebih (ANSI 51).
3. Gangguan yang digunakan adalah  $I_{sc3\phi} 0,5 \text{ cycle}$ .
4. Gangguan hanya disimulasikan pada bus.
5. Kurva motor *starting*, *damage curve transformator* tidak diperhitungkan.
6. Data yang digunakan untuk perhitungan nilai TDS dan kurva TCC diambil dari hasil simulasi ETAP 12.6.0 pada *plant* PT Pupuk Kalimantan Timur.
7. Pemodelan algoritma *Numerical computation* untuk perhitungan nilai TDS dan pemilihan tipe kurva TCC dilakukan pada *software* MATLAB R2017a.

### 1.5 Metodologi

Metodologi yang akan digunakan penulis dalam proses penulisan tugas akhir ini adalah :

1. Pengumpulan Data dan Studi Literatur  
Mengumpulkan data-data kelistrikan pada PT Pupuk Kalimantan Timur sebagai dasar acuan penelitian pada topik ini, serta mengumpulkan buku dan referensi yang berkaitan dengan topik ini guna menunjang pengerjaan topik ini.
2. Pemodelan Sistem dengan ETAP 12.6.0  
Pada tahap ini dilakukan pemodelan sistem kelistrikan PT Pupuk Kalimantan Timur menggunakan *software* ETAP versi 12.6.0. Adanya pemodelan sistem ini memungkinkan dilakukannya



- simulasi aliran daya, hubung singkat, serta melakukan pengaturan koordinasi proteksi.
3. Perancangan Algoritma Otomatisasi  
Setelah didapatkan hasil permodelan dari sistem kelistrikan PT Pupuk Kalimantan Timur, perlu dilakukan perhitungan nilai TDS dan pemilihan jenis kurva TCC. Oleh sebab itu diperlukan perancangan algoritma dengan menggunakan *Numerical computation* sebagai metode perhitungan waktu TDS dengan menggunakan software MATLAB R2017a.
  4. Analisis Algoritma Otomatisasi untuk Perhitungan Nilai TDS dan Pemilihan Kurva TCC  
Pada tahap ini dilakukan analisis pada algoritma *Numerical computation* untuk mencari nilai optimal TDS dan kurva TCC. Analisis yang dilakukan meliputi pengujian algoritma dan kecakapan algoritma untuk memproses nilai input untuk mendapatkan hasil yang paling memuaskan melalui analisis serta penyempurnaan algoritma.
  5. Pengujian Algoritma Otomatisasi kedalam Plant  
Tahap ini merupakan tahap terakhir dimana setelah didapatkan kombinasi nilai TDS & jenis kurva TCC terbaik melalui algoritma otomatisasi, nilai tersebut diujikan kedalam plant sistem kelistrikan PT Pupuk Kalimantan Timur.

## 1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam tugas akhir ini terdiri atas lima bab dengan uraian sebagai berikut :

### **Bab 1 : Pendahuluan**

Bab ini membahas tentang penjelasan mengenai latar belakang, permasalahan dan batasan masalah, tujuan, metode penelitian, sistematika pembahasan, dan relevansi.

### **Bab 2 : Tinjauan Pustaka**

Bab ini membahas mengenai dasar teori yang digunakan untuk menunjang penyusunan tugas akhir ini.

### **Bab 3 : Perancangan dan Pemodelan**

Bab ini membahas mengenai perancangan dan pemodelan algoritma perhitungan nilai TDS dan kurva TCC dengan menggunakan algoritma *Numerical computation* pada sistem kelistrikan PT Pupuk Kalimantan Timur.

### **Bab 4 : Simulasi dan Analisis**

Bab ini membahas hasil dari simulasi algoritma *Numerical computation* untuk mencari nilai terbaik dari *setting* koordinasi proteksi rele arus lebih dengan menggunakan algoritma *Numerical computation*.

### **Bab 5 : Penutup**

Bab ini berisi tentang kesimpulan dari hasil tugas akhir yang telah dikerjakan dan juga saran yang dapat diberikan untuk pengembangan hasil tugas akhir ini kedepannya.

## **1.7 Relevansi**

Hasil tugas akhir ini diharapkan mampu membawa pengaruh positif, terutama pada pengembangan metode perhitungan *setting* koordinasi proteksi kurva arus lebih yang dapat memudahkan perhitungan nilai TDS dan penentuan kurva TCC pada rele sistem kelistrikan eksisting.

## **BAB 2**

### **KAJIAN PUSTAKA**

Proteksi sistem tenaga listrik pada dasarnya mempunyai fungsi untuk membatasi waktu gangguan ketika terjadi kegagalan peralatan, serta untuk meminimalisir kerusakan pada peralatan/sistem ketika terjadi gangguan. Penyebab terjadinya malfungsi pada sistem pada dasarnya tidak dapat diprediksi, tetapi desain dan pemeliharaan pada peralatan kelistrikan dapat mengurangi terjadinya permasalahan pada sistem. Sistem kelistrikan seharusnya didesain untuk dapat menjaga dirinya dari gangguan dengan sendirinya [1].

#### **2.1 Proteksi terhadap Gangguan**

Gangguan sistem kelistrikan utama yang harus dilindungi adalah hubung singkat dan juga beban lebih [1]. Hubung singkat dapat diakibatkan oleh berbagai cara, termasuk kegagalan insulasi akibat panas berlebih ataupun kelembaban, kerusakan mekanik pada peralatan distribusi listrik, dan kegagalan utilisasi peralatan akibat beban lebih ataupun penyebab lainnya. Rangkaian menjadi kelebihan beban karena menghubungkan utilisasi peralatan yang lebih besar terhadap rangkaian awal. Beban lebih juga dapat diakibatkan oleh pemasangan peralatan yang kurang baik ataupun *maintenance* yang buruk, seperti poros/*shafts* yang tidak sejajar ataupun *bearing* yang sudah tidak layak pakai.

Hubung singkat dapat terjadi antara konduktor dua-fasa, semua fasa pada sistem *polyphase*, atau antara satu atau lebih fasa ke tanah. Hubung singkat dapat terjadi secara permanen akibat fasa yang dibaut atau sudah dilas.

##### **2.1.1 Perhitungan Hubung Singkat**

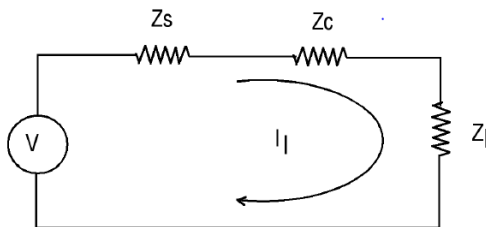
Arus hubung singkat dapat mengakibatkan kerusakan besar pada sistem tenaga. Hubung singkat biasanya punya besar arus yang lebih besar daripada arus beban. Akibat dari arus yang besar ini sangat berbahaya pada operasi normal sistem tenaga. Pertama, akibat hubung singkat konduktor pada sistem menjadi sangat panas, yang dimana sistem tidak didesain untuk kondisi seperti itu. Arus ini juga mengakibatkan tekanan mekanik pada konduktor, yang dapat merusak insulator dan memutarbalikkan belitan transformator serta mengakibatkan kerusakan fisik yang lain. Hukum paling dasar untuk menentukan magnitude arus hubung singkat

adalah dengan menggunakan Hukum Ohm, dimana arus yang mengalir pada impedansi jaringan berhubungan dengan tegangan :

$$I = \frac{V}{Z} \quad (2.1)$$

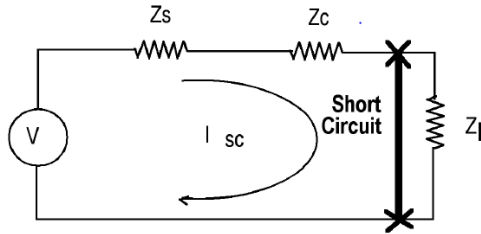
- $I$  = Arus yang mengalir.
- $I_l$  = Arus yang mengalir pada beban.
- $I_{sc}$  = Arus yang mengalir ketika terjadi *short circuit*.
- $V$  = Tegangan pada sistem.
- $Z$  = Impedansi total pada *loop*.
- $Z_s$  = Impedansi sumber.
- $Z_c$  = Impedansi rangkaian.
- $Z_l$  = Impedansi beban.

Dari persamaan diatas dapat dijelaskan bahwa ketika terjadi hubung singkat, maka arus yang mengalir pada jaringan akan semakin besar [1]. Hubungan arus dan impedansi tersebut dapat dilihat pada :



**Gambar 2. 1** Rangkaian Ekuivalen untuk Menghitung Arus pada Kondisi Normal

Pada kondisi diatas nilai impedansi total  $Z$  adalah penjumlahan dari  $Z_s$ ,  $Z_c$ , dan  $Z_l$ . Dimana arus yang mengalir pada rangkaian diatas adalah sebesar  $I_l$ .



**Gambar 2. 2** Rangkaian Ekvivalen untuk Menghitung Arus Hubung Singkat

Dari gambar diatas dapat dilihat ketika terjadi hubung singkat, nilai impedansi yang ada pada jaringan akan semakin kecil. Dimana nilai impedansi total  $Z$  hanyalah penjumlahan dari  $Z_s$  dan  $Z_c$  Sehingga nilai arus hubung singkat akan bertambah besar seiring dengan nilai impedansi yang berkurang.

### 2.1.2 Jenis-jenis Hubung Singkat

Arus hubung singkat berdasarkan tipe hubung singkat yang terjadi dapat diklasifikasikan sebagai berikut [2] :

#### 1. Hubung Singkat Tiga Fasa

Nilai arus hubung singkat ini merupakan yang paling besar daripada yang lainnya. Dimana nilai arus hubung singkat tiga fasa dapat dihitung melalui :

$$I_{sc3\phi} = \frac{V_{LN}}{X_1} \quad (2.2)$$

Dimana  $V_{LN}$  adalah tegangan fasa ke netral, dan  $X_1$  adalah reaktansi urutan positif.

#### 2. Hubung Singkat Dua Fasa

Hubung singkat dua fasa terjadi ketika adanya dua konduktor fasa yang bertemu pada satu titik. Nilai arus hubung singkat dua fasa ini biasa juga disebut sebagai hubung singkat minimum. Dimana nilai impedansi yang mempengaruhi besar arus hubung singkat ini lebih besar dari hubung singkat lainnya.

$$I_{sc2\phi} = \frac{V_{LL}}{X_1 + X_2}$$

Dimana  $V_{LL}$  adalah tegangan fasa ke fasa dan  $X_2$  adalah reaktansi urutan negatif. Jika nilai reaktansi urutan positif sama dengan reaktansi urutan negatif maka persamaan dapat ditulis seperti rumus dibawah :

$$I_{sc2\emptyset} = \frac{\sqrt{3}V_{LN}}{2X_1}$$

Jika mengacu pada persamaan hubung singkat tiga fasa, maka nilai arus hubung singkat dua fasa dapat ditulis menjadi :

$$I_{sc2\emptyset} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_{sc3\emptyset} \quad (2.3)$$

### 3. Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah

Hubung singkat satu fasa ke tanah terjadi ketika salah satu fasa terhubung dengan tanah. Dimana hubung singkat ini paling sering terjadi pada sistem kelistrikan. Pada hubung singkat ini, nilai reaktansi urutan nol ikut terlibat dalam perhitungan arus hubung singkatnya.

$$I_{sc1\emptyset} = \frac{3V_{LN}}{X_0 + X_1 + X_2 + Z_G}$$

Dimana  $Z_G$  merupakan nilai impedansi ke tanah. Apabila nilai  $Z_G$  mendekati nol atau sangat kecil dan nilai  $X_0 = X_1 = X_2$ . Maka persamaan arus hubung singkat satu fasa ke tanah dapat ditulis :

$$I_{sc1\emptyset} = \frac{V_{LN}}{X_1} = I_{sc3\emptyset} \quad (2.4)$$

## 2.2 Tipe Rele dan Faktor Pemilihan Rele

Dimana sebuah rele pengaman mempunyai tipe-tipe yang berbeda-beda berdasarkan fungsinya, berdasarkan [3] tipe rele dibagi menjadi :

1. *Overcurrent Relay* : Sebuah rele yang beroperasi ketika arus yang melebihi dari nilai yang ditentukan.
2. *Differential Relay* : Sebuah rele yang berdasarkan desain dan aplikasinya ditujukan untuk merespon adanya perbedaan antara nilai incoming dan outcoming yang terhubung dengan peralatan listrik.
3. *Distance Relay* : Sebuah rele yang bentuk responnya menginformasikan jarak rangkaian listrik antara lokasi rele dan juga titik gangguan.

Sementara untuk menjamin keandalan kinerja sebuah rele pengaman, ada beberapa faktor yang perlu diperhatikan :

1. Kecepatan Bereaksi : Dimana pada parameter ini sebuah rele dinilai berdasarkan kecepatannya untuk mengirimkan sinyal pelepasan *circuit breaker* (CB). Dimana semakin cepat kecepatan

bereaksi sebuah rele maka akan mengurangi kerusakan peralatan listrik yang ada.

2. *Sensitivity* : Kemampuan rele untuk merasakan gangguan dan memberikan respon ke pemutus terkait.

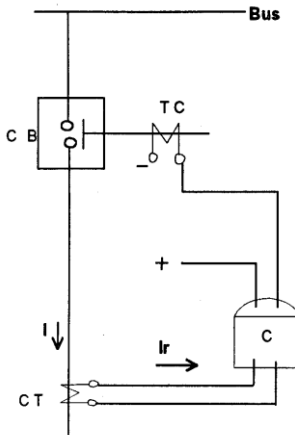
3. *Selectivity* : Kemampuan rele untuk menentukan titikan gangguan dan memutus rangkaian dengan pemilihan pemutus terdekat dari titik gangguan.

4. Ekonomis : Dimana sebuah rele pengaman harusnya disesuaikan dengan harga peralatan yang diamankan. Semakin vital peralatan yang harus diamankan, maka semakin mahal/baik pula rele pengaman yang digunakan.

5. *Reliability* : Adalah nilai keandalan rele pengaman ketika terjadi gangguan harus bereaksi dan tidak melakukan malfungsi. Nilai yang baik untuk sebuah rele pengaman adalah pada rentang 90% keatas.

## **2.3 Rele Arus Lebih**

Rele arus lebih adalah sebuah devais pengaman yang digunakan untuk mengamankan gangguan beban lebih (*overload*) ataupun gangguan hubung singkat (*short circuit*)[4]. Hal ini dapat diatur sedemikian rupa dengan parameter setting rele bekerja ketika  $I_f > I_p$  dimana nilai arus yang mengalir lebih besar daripada nilai parameter rele arus lebih yang ditentukan. Tetapi ketika nilai  $I_f < I_p$  maka rele arus lebih tidak akan bekerja. Dimana nilai  $I_f$  dan  $I_p$  sebelum masuk kedalam rele arus lebih terlebih dahulu dikonversi besarnya dengan menggunakan *current transformer* (CT). Secara singkat cara kerja rele arus lebih dapat digambarkan melalui gambar dibawah[3].



**Gambar 2. 3** Cara Kerja Rele Arus Lebih pada Rangkaian [3]

Dengan keterangan sebagai berikut :

CB = *Circuit breaker*

TC = *Trip coil CB*

I = Arus yang mengalir pada saluran yang diamankan

CT = Trafo arus

$I_r$  = Arus yang mengalir pada rele

C = Rele arus lebih

$I_p$  = Arus *pick-up* dari rele

Dimana berdasarkan [1] dapat dijelaskan bahwa koordinasi rele arus lebih harus memperhatikan waktu kerja dari rele dengan rincian sebagai berikut :

Waktu terbuka CB (2-5 *Cycle*) : 0,04-0,1 detik

Overtravel dari rele : 0,1 detik

Faktor keamanan : 0,12-0,22 detik

Dimana untuk rele statis dan rele berbasis *microprocessor*, *overtravel* dari rele dapat diabaikan. Sehingga waktu total operasi rele berada pada rentang 0,2-0,4 detik.

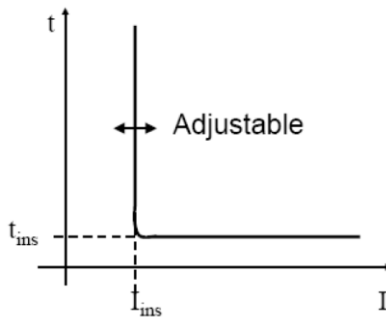
## 2.4 Tipe Kurva Rele Arus Lebih

Kurva rele arus lebih memiliki beberapa tipe yang penggunaannya berdasarkan dengan kebutuhan sistem kelistrikan dan juga karakteristik beban yang berbeda-beda.



#### 2.4.1 Kurva Rele Arus Lebih Waktu Instan

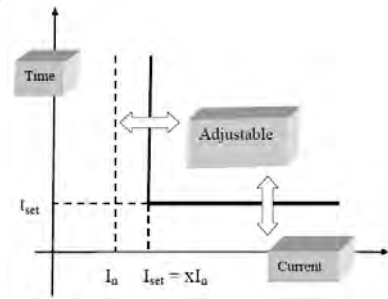
Penggunaan tipe kurva ini digunakan untuk bekerja sangat cepat atau tanpa adanya penundaan. Rele ini dapat bekerja pada waktu tercepat 0,08 detik dan masih dapat bekerja pada waktu 0,1 detik.



**Gambar 2. 4** Rele Arus Lebih Waktu Tertentu

#### 2.4.2 Kurva Rele Arus Lebih Waktu Tertentu

Penggunaan tipe kurva ini digunakan untuk bekerja pada waktu yang dapat kita tentukan pada nilai arus yang dapat kita tentukan juga. Biasanya penggunaan tipe kurva rele arus lebih ini digunakan untuk arus gangguan hubung singkat.



**Gambar 2. 5** Rele Arus Lebih Waktu Tertentu

#### 2.4.3 Kurva Rele Arus Lebih Waktu *Inverse*

Penggunaan tipe kurva ini membutuhkan parameter yang lebih banyak dibanding tipe kurva lainnya, dimana parameter yang dibutuhkan adalah arus *pickup* ( $I_p$ ) dan juga *Time Dial Setting* (TDS) untuk menentukan waktu operasi rele terhadap arus gangguan yang ada. Dimana berdasarkan *British Standard-142*, nilai  $I_p$  berada pada rentang 1,05 FLA

sampai 1,4 FLA. Dimana FLA atau *Full Load Ampere* (FLA) adalah arus nominal yang mengalir pada rangkaian.

Untuk menentukan TDS sendiri, diperlukan perhitungan yang berbeda berdasarkan jenis kurva yang akan dipakai[5]. Setiap manufaktur rele mempunyai rumus perhitungan TDS yang berbeda-beda. Rumus untuk perhitungan rele arus lebih waktu *inverse* dapat dituliskan sebagai berikut [6] :

$$t_{op} = \frac{TDS \times k}{\left(\left(\frac{I}{I_p}\right)^\alpha - 1\right)^{\beta}} \quad (2.5)$$

$t_{op}$  = Waktu operasi dari rele arus lebih.

TDS = *Time Dial Setting*.

I = Arus saat operasi rele. ( $t_{op}(I)$ ).

$I_p$  = Arus *pickup*.

$\alpha, \beta, k$  = Koefisien rele arus lebih waktu *inverse*.

Koefisien rele arus lebih waktu *inverse* dapat berbeda-beda sesuai dengan manufaktur pembuat rele masing-masing. Beberapa contoh koefisien rele arus lebih waktu *inverse* yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah [7-9] :

**Tabel 2. 1** Koefisien Kurva Rele *Inverse* Sepam 1000

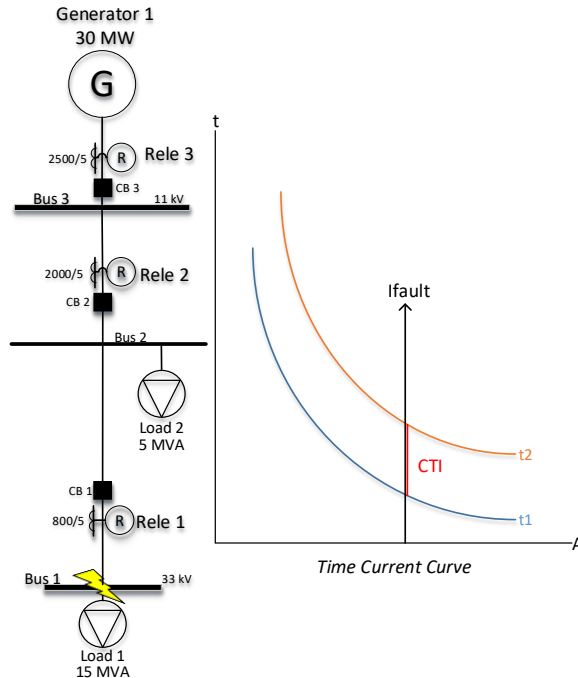
<b>Tipe Kurva</b>	<b><math>\alpha</math></b>	<b><math>\beta</math></b>	<b>k</b>
Standard Inverse	0,02	2,97	0,14
Very Inverse	1	1,5	13,5
Ultra Inverse	2,5	1	315
Extremely Inverse	2	0,808	80

**Tabel 2. 2** Koefisien Kurva Rele *Inverse* ABB Ref542Plus dan ABB SPAJ140C

<b>Tipe Kurva</b>	<b><math>\alpha</math></b>	<b><math>\beta</math></b>	<b>k</b>
Standard Inverse	0,02	1	0,14
Very Inverse	1	1	13,5
Long Time Inverse	1	1	120
Extremely Inverse	2	1	80

#### 2.4.4 Skema Koordinasi Proteksi

Skema koordinasi proteksi diperlukan untuk mengatur *setting* dari rele-rele yang bekerja untuk mendapatkan hasil waktu operasi yang baik dan aman. Sebagai contoh koordinasi proteksi dapat dilihat pada gambar dibawah ini :



**Gambar 2. 6** Skema Koordinasi Proteksi

Pada gambar diatas, dapat dilihat bahwa ketika terjadi gangguan hubung singkat pada Bus 1, terdapat Rele 2 yang akan mengamankan titik gangguan dari sistem. Dimana ketika terjadi gangguan pada Bus 1, waktu operasi dari Rele 2 ( $t_2$ ) tersebut tidak bersamaan, melainkan memiliki selang sebesar CTI detik sebagai rele cadangan untuk mengantisipasi Rele 1 ketika gagal beroperasi. Hal yang sama terjadi ketika gangguan berada di Bus 2, dimana Rele 2 akan beroperasi paling cepat dan kemudian Rele 1 bekerja dengan selang waktu  $t_2 + \text{CTI}$  untuk mengantisipasi Rele 2 ketika gagal beroperasi.

## 2.5 Numerical computation

Setiap disiplin ilmu pengetahuan dan *engineering* menggunakan komputasi numerik untuk menganalisa permasalahan yang kompleks [10]. Ditambah lagi, *electrical engineer* sangat cocok menggunakan *computational solutions* karena memang dasar dari Teknik Elektro berkaitan erat dengan Teknik Komputer. Beberapa tujuan dasar *engineer* menggunakan *Numerical computation* pada pekerjaan mereka adalah untuk :

1. Mendesain produk baru atau memperbaiki yang sudah ada.
2. Meningkatkan efisiensi manufaktur.
3. Memperkecil biaya, waktu pengerjaan, dan segala bentuk biaya *non-returable engineering* (NRE).

Keuntungan menggunakan komputer adalah dapat menampung banyak perhitungan hanya dalam sepersekian detik dan mampu memudahkan segala jenis pekerjaan terutama yang bersangkutan dengan perhitungan atau otomatisasi dari sebuah persamaan. Oleh sebab itu *Numerical computation* sangat banyak digunakan pada dunia industri maupun pada bidang penelitian karena dapat mempermudah proses perhitungan dan juga mempercepat waktu pengerjaan suatu permasalahan.

## 2.6 Coordination Time Interval (CTI)

Merupakan waktu yang diperlukan untuk selang waktu bekerja antara rele primer dan rele *backup* disebut juga sebagai *coordination time interval* (CTI). Waktu tipikal untuk CTI pada tipe rele elektro-mekanik adalah 0,3-0,4 detik, sedangkan pada rele tipe *static* adalah 0,2-0,3 detik.

**Tabel 2. 3** Waktu CTI Rele

Pekerjaan Rele	Jenis rele	
	<i>Static Relay</i>	<i>Electromechanical Relay</i>
Waktu buka CB	0,08 s	0,08 s
<i>Relay overtravel</i>	0,00 s	0,1 s
Toleransi dan galat rele	0,12 s	0,12 s
<b>Waktu total CTI</b>	<b>0,2 s</b>	<b>0,3 s</b>

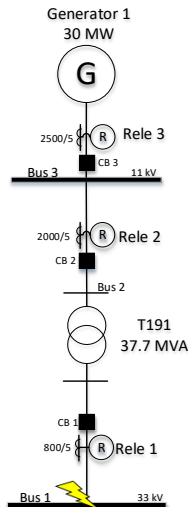
## BAB 3

### SISTEM KELISTRIKAN PT PUPUK KALIMANTAN TIMUR DAN PERANCANGAN *NUMERICAL COMPUTATION*

Pada bagian ini diuraikan mengenai data-data penting yang didapat dari PT Pupuk Kalimantan Timur. Selain penyajian data mengenai sistem kelistrikan PT Pupuk Kalimantan Timur juga akan dijelaskan mengenai rancangan *numerical computation* yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan yang ada.

#### 3.1 Perancangan Otomatisasi Koordinasi Rele

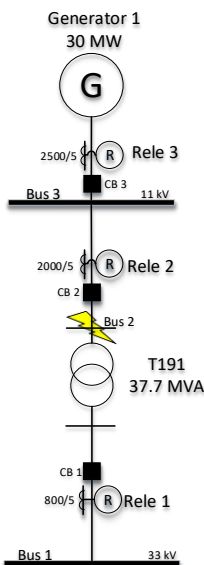
Pada tugas akhir ini, akan dirancang skema otomatisasi koordinasi proteksi rele arus lebih tipe *inverse*. Dimana untuk skema pengerjaan otomatisasi pada program tugas akhir ini akan dijelaskan melalui gambar dibawah ini.



**Gambar 3. 1** *Single Line Diagram* Otomatisasi Gangguan Bus 1

Pada contoh gambar diatas, ketika terjadi gangguan hubung singkat pada Bus 1, maka Rele 1 akan bekerja sebagai rele primer dan Rele 2 akan

bekerja sebagai rele *backup* dengan CTI yang bisa disesuaikan dengan *setting* pengguna.



**Gambar 3. 2** *Single Line Diagram* Otomatisasi Gangguan Bus 2

Sedangkan ketika terjadi gangguan pada Bus 2 seperti gambar diatas, maka Rele 2 akan bekerja sebagai rele primer dan Rele 3 akan bekerja sebagai rele *backup*. Program akan secara otomatis melakukan perhitungan untuk gangguan pada Bus 3 dan mencari waktu operasi terbaik untuk Rele 3 sebagai rele primer. Dimana jumlah perhitungan pada program ini disesuaikan dengan masukkan jumlah rele yang akan *disetting* nilai TDS dan tipe kurva yang digunakan.

### 3.2 Perancangan *Numerical computation*

Untuk melakukan otomatisasi perhitungan nilai TDS dan pemilihan kurva pada sistem proteksi Tanjung Harapan, digunakan metode *numerical computation* dengan beberapa algoritma yang penulis buat sendiri untuk mendapatkan hasil terbaik pada program tugas akhir ini. Secara singkat ada beberapa formulasi permasalahan yang harus dipenuhi dalam perhitungan program ini yang berlandaskan pada penelitian-penelitian sebelumnya tentang topik yang sama [11]. Selain itu ada beberapa tambahan formulasi permasalahan yang digunakan untuk

memaksimalkan perhitungan program tugas akhir ini dan juga pengembangan lainnya untuk validasi manufaktur rele dan juga persamaan tipe kurva yang ada [12]. Kelebihan tugas akhir ini adalah adanya perhitungan otomatis dari semua jenis kurva tipe *inverse* dan juga pemilihan *setting* terbaik untuk rele proteksi. Secara garis besar, formulasi permasalahan yang dimasukkan pada program tugas akhir ini adalah :

### 3.2.1 Formulasi Permasalahan pada Program Tugas Akhir

#### 1. Kriteria Koordinasi

Kondisi gangguan dirasakan oleh rele primer maupun *backup*. Dimana rele *backup* beroperasi untuk membuka *circuit breaker* (CB) ketika rele primer gagal beroperasi. Nilai ini didapatkan dari penjumlahan durasi waktu rele primer, waktu *overtravel* antar rele, dan juga waktu *overshoot* rele. Waktu yang diperlukan untuk selang waktu bekerja antara rele primer dan rele *backup* disebut juga sebagai *coordination time interval* (CTI) dengan persamaan seperti yang sudah dijelaskan pada bab 2.

#### 2. Batas Waktu Operasi Rele

Rele membutuhkan jumlah waktu tertentu untuk beroperasi, dan nilai minimum operasi rele harus lebih besar dari batas minimum operasi rele. Di sisi lain, rele juga tidak boleh bekerja pada waktu yang terlalu lama agar tidak merusak peralatan ketika terjadi gangguan. Dimana  $t_{imin}$  merupakan batas bawah operasi rele, sedangkan  $t_{imax}$  merupakan batas atas waktu operasi rele. Waktu operasi rele dapat dinyatakan dalam persamaan :

$$t_{imin} \leq t_i \leq t_{imax} \quad (3.1)$$

#### 3. Batas pada Pengaturan Rele

Manufaktur rele menyediakan batas bawah dan atas nilai pengaturan yang diizinkan untuk mengatur nilai TDS. Dimana pada program ini nilai batas pengaturan TDS sudah disesuaikan sesuai dengan pilihan manufaktur rele yang akan digunakan pada perhitungan. Batas pengaturan TDS dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$TDS_{i,min} \leq TDS_i \leq TDS_{i,max} \quad (3.2)$$

#### 4. Batas pada Karakteristik Rele

Setiap rele mempunyai karakteristik yang berbeda, baik dari tipe kurva *inverse* yang disediakan ataupun dari koefisien persamaan

kurva yang berbeda-beda. Pada program ini sudah disesuaikan pada pilihan manufaktur rele yang dipilih yang nantinya akan menyesuaikan karakteristik rele yang dipilih.

#### 5. Batas Kemampuan Rele

Beberapa rele mempunyai batas kerja operasi yang berbeda-beda, oleh sebab ini pada program tugas akhir ini diberikan batasan baru pada tiap rele sesuai dengan karakteristiknya. Seperti pada rele ABB SPAJ140C, dengan batasan kerja [6] :

$$I_{i,operate} \leq 20 \times I_{i,pickup} \quad (3.3)$$

### 3.2.2 Algoritma *Numerical computation*

Pada bagian ini akan dibahas mengenai algoritma apa saja yang digunakan pada program tugas akhir untuk mengotomatisasi perhitungan koordinasi proteksi pada PT Pupuk Kalimantan Timur, dengan fungsi objektif sebagai berikut :

#### 1. Input Data Program *Numerical computation*

Pada tahap awal program, dibutuhkan input data untuk diolah kedalam program tugas akhir, data yang dibutuhkan untuk perhitungan TDS dan pemilihan kurva adalah data jumlah rele, arus hubung singkat primer, arus hubung singkat *backup*, nilai tegangan rele bekerja, *full load ampere* (FLA), nilai primer CT rele, dan waktu *setting* awal yang diinginkan.

#### 2. Pemilihan Manufaktur dan Tipe Rele

Setelah memasukkan data masukkan untuk perhitungan koordinasi proteksi, langkah selanjutnya adalah memilih manufaktur rele yang telah disediakan didalam program. Hal ini dilakukan untuk menyesuaikan karakteristik rele yang akan digunakan dalam kalkulasi. Mulai dari koefisien perhitungan waktu operasi, batas kerja rele, serta *range* dan *step* TDS.

#### 3. Inisiasi Perhitungan Waktu Operasi

Untuk menentukan waktu operasi dari setiap tipe kurva, diperlukan inisiasi perhitungan untuk mengkalkulasi waktu kerja dari setiap tipe kurva. Menggunakan persamaan waktu operasi rele dari setiap kurva *inverse* yang tersedia dari manufaktur rele yang dipilih.

#### 4. Mencari Waktu Terdekat dari Waktu *Setting*



Pada perhitungan awal, setiap kurva dihitung untuk mencari nilai waktu operasi yang paling mendekati dari waktu pengaturan yang diinginkan. Dari setiap waktu operasi rele yang digenerasi dari *step* TDS setiap kurva dicari nilai *error* minimum dari waktu *setting* awal yang diinginkan.

$$td_{min} = td_{rele} - td_{set} \quad (3.4)$$

Dengan  $td_{min}$  adalah waktu kerja rele dengan *error* terkecil,  $td_{rele}$  adalah data waktu kerja rele dari setiap TDS yang digenerasi, dan  $td_{set}$  adalah waktu operasi awal yang diinginkan.

5. Mencari Waktu Terbaik dari Setiap Kurva *Inverse*

Setelah diiniasi dengan perhitungan dari setiap waktu kerja rele, dilanjutkan dengan mencari nilai minimum dari waktu kerja rele dari setiap jenis kurva *inverse*.

$$td_{minrele} = \min(td_{min(i,j)}) \quad (3.5)$$

Dengan  $td_{relemin}$  adalah waktu kerja rele dengan *error* terkecil yang dibandingkan dari setiap pilihan kurva *inverse* yang tersedia.

6. Evaluasi Waktu Operasi Rele

Pada tahap ini, waktu operasi terbaik dari setiap rele dievaluasi apakah sudah memenuhi kedua syarat batas waktu rele. Yaitu batas waktu koordinasi antar rele, dan juga batas waktu operasi rele dari tiap-tiap rele yang ada. Dimana nilai CTI dapat diatur secara otomatis atau manual sesuai dengan keinginan *setting* proteksi yang ada. Waktu operasi rele *backup* dapat dievaluasi melalui persamaan berikut :

$$td_{minrele(i+1,j)} - (td_{minrele(i,j)} + CTI) \geq 0 \quad (3.6)$$

Dimana setiap rele *backup* harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

$$td_{minrele(i+1,j)} \text{ sebagai rele primer} \geq 0,1s \quad (3.7)$$

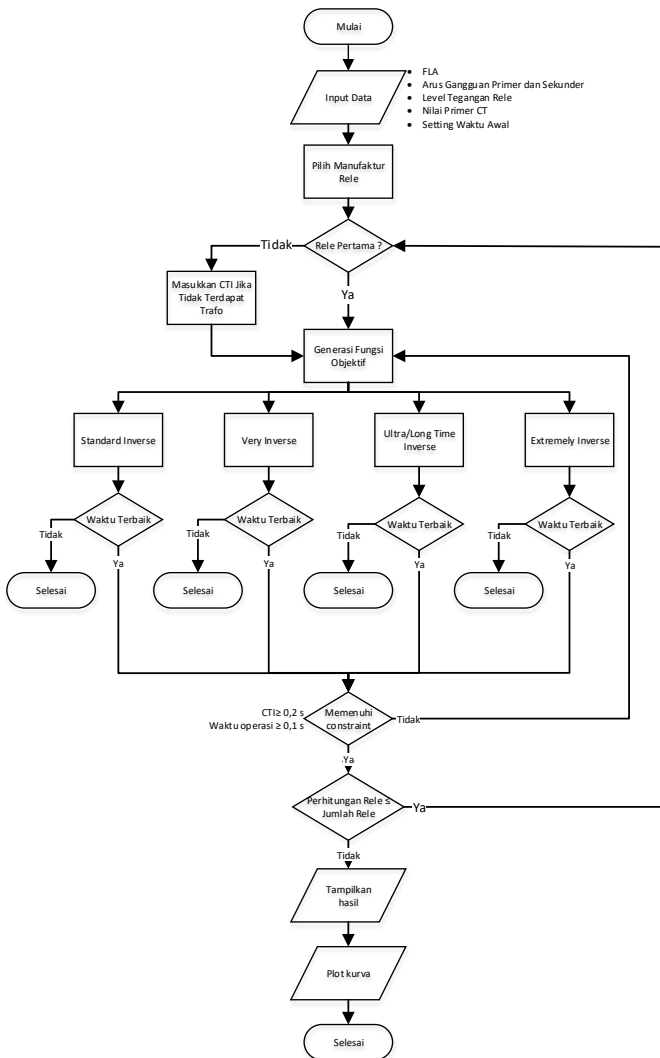
7. Koordinasi Antar Rele

Di langkah ini, terdapat pilihan koordinasi antar rele. Apakah rele selanjutnya berada pada tegangan yang sama atau dipisahkan dengan trafo. Nilai *setting* CTI pada rele berikutnya dapat ditentukan sesuai dengan kondisi koordinasi proteksi, dimana jika terdapat beda tegangan waktu operasi rele berikutnya dapat diberikan *time grading*

transformator atau dapat diabaikan sehingga didapatkan hasil *setting* yang kita inginkan.

8. *Main Loop While*

Setelah didapatkan hasil waktu operasi rele, maka program akan bekerja untuk menentukan *setting* rele berikutnya secara otomatis. Dimana program akan berhenti ketika jumlah rele yang di *setting* sudah sebanyak dengan input jumlah rele yang ditentukan diawal perhitungan.



**Gambar 3. 3** Alur Perhitungan Program *Numerical computation*



**Tabel 3. 1** Rangkuman Data Pembangkitan, dan Pembebanan PT Pupuk Kalimantan Timur

Keterangan		MW	MVA R	MVA	%PF
Source	Swing Bus	20,476	16,075	26,032	78,66 Lagging
	Non-Swing Bus	78,590	43,842	89,992	87,33 Lagging
Load	Motor Load	87,297	48,237	99,738	87,53 Lagging
	Static Load	10,904	6,387	12,637	86,29 Lagging
Total Demand		99,066	59,916	115,776	85,57 Lagging
Apparent Losses		0,865	5,292		

### 3.5 Kapasitas Pembangkitan PT Pupuk Kalimantan Timur

Pada PT Pupuk Kalimantan Timur terdapat enam generator yang beroperasi pada kondisi normal, dengan data yang ditunjukkan pada Tabel 3.2 berikut ini :

**Tabel 3. 2** Rangkuman Kapasitas Pembangkitan PT Pupuk Kalimantan Timur

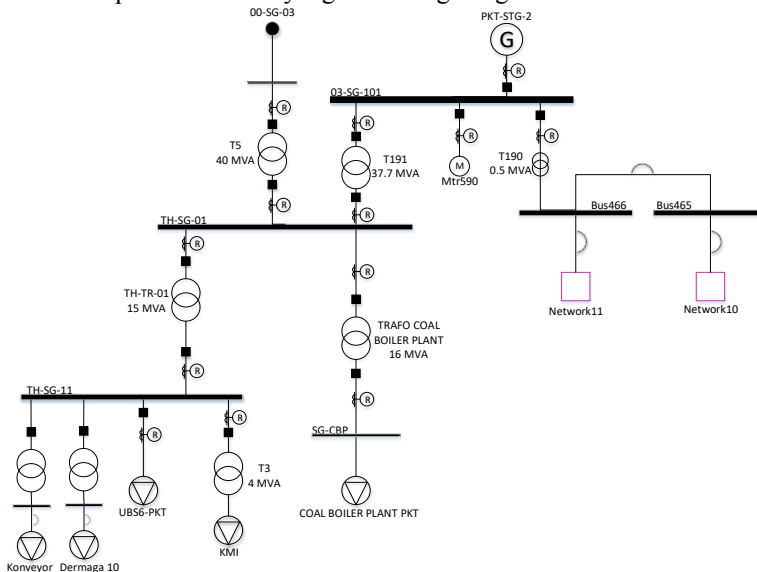
ID	Lokasi	Tegangan (kV)	Daya Rating (MW)	Daya Operasi (MW)	Faktor Daya (PF)
16-Z-001	KALTIM 3	11	30	19,62	80%
GenP	KALTIM 4	11	21,6	15,42	80%
GTG K2	KALTIM 2	11	36,4	18,69	80%
GTG KDM	KDM	11	34	20,475	80%
PKT-STG-2	T. HARAPAN	11	30	7,23	80%
STG-K-5	KANIBUNGAN	11	30	17,63	80%

### 3.6 Sistem Distribusi pada PT Pupuk Kalimantan Timur

Pada PT Pupuk Kalimantan Timur, sistem kelistrikan utama menggunakan *ring bus* 33 kV yang dimaksudkan untuk mempermudah aliran daya antar *island*/pabrik sehingga ekspor dan impor daya dari tiap *island*/pabrik dapat dilakukan sesuai kebutuhan tiap-tiap pabrik. Untuk sistem distribusi pada tiap-tiap *island* tidak menggunakan topologi yang sama, tetapi diatur sesuai dengan kebutuhan masing-masing pabrik dan juga ketersediaan infrastruktur yang ada. Pada tugas akhir ini, akan dilakukan penelitian metode baru yang diaplikasikan di sistem kelistrikan Tanjung Harapan *Island* yang akan dijelaskan pada bab 3 ini.

#### 1. Sistem Distribusi Tanjung Harapan *Island*

Pada Tanjung Harapan *island* terdapat beban aktif sebesar 14 MW yang tersebar pada beberapa beban dengan beban terbesar *Coal Boiler Plant PKT* dengan *rating* beban 17 MVA. Generator yang aktif pada *island* ini adalah generator dengan ID PKT-STG-2 yang berkapasitas 30 MW yang terhubung dengan bus 11 kV.



**Gambar 3. 5** Single Line Diagram Tanjung Harapan

### 3.7 Data Sistem Proteksi Eksisting Tanjung Harapan

Pada tugas akhir ini dipilih *island* Tanjung Harapan sebagai objek pengaplikasian program tugas akhir yang sudah dibuat. Dipilihnya Tanjung Harapan *Island* sebagai objek penelitian dikarenakan Tanjung Harapan memiliki sistem kelistrikan radial yang ideal jika dibandingkan dengan *island* lain yang jenis beban pada *island* serupa dan hanya repetisi dari satu *setting* dengan yang lainnya. Sehingga Tanjung Harapan *Island* dianggap ideal karena mampu merepresentasikan sistem kelistrikan radial yang terdiri dari beban yang berbeda-beda pada tiap tipikalnya.

Pada Tanjung Harapan *Island* memiliki 12 rele arus lebih aktif dan 1 pada *outgoing ring* yang merupakan gerbang sebelum tersambung dengan *main ring bus* 33 kV. Sebagaimana data dari rele arus lebih pada Tanjung Harapan dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

**Tabel 3. 3** Data Rele Arus Lebih Tanjung Harapan

No	ID	Manufaktur	Tipe	Tegangan (kV)
1	OCR_OUT1TH	Merlin Gerin	Sepam 1000	11
2	OCR_OUT2TH	Merlin Gerin	Sepam 1000	11
3	INC_THTR01_OCR	Merlin Gerin	Sepam 1000	11
4	OCR_OUT81	Merlin Gerin	Sepam 1000	33
5	OCR_INCCBP	Merlin Gerin	Sepam 1000	6.9
6	OCR_OUT82	Merlin Gerin	Sepam 1000	33
7	RELAY42	ABB	SPAJ 140C	11
8	RELAY43	ABB	SPAJ 140C	11
9	OCR_INCG03SG101	Merlin Gerin	Sepam 1000	11
10	OCR_INCTI03SG101	ABB	SPAJ 140C	11
11	OCR_INC82	Merlin Gerin	Sepam 1000	33

**Tabel 3. 4** Data Rele Arus Lebih Tanjung Harapan (Lanjutan)

12	OCR_INC81	Merlin Gerin	Sepam 1000	33
13	OCR_SP31	Merlin Gerin	Sepam 1000	33



## **BAB 4**

### **HASIL SIMULASI DAN ANALISIS PROGRAM NUMERICAL COMPUTATION KOORDINASI PROTEKSI PT PUPUK KALIMANTAN TIMUR PABRIK TANJUNG HARAPAN**

Pada bab ini akan dibahas mengenai hasil simulasi dari program tugas akhir koordinasi proteksi PT Pupuk Kalimantan Timur dengan menggunakan metode *numerical computation* untuk mengotomatisasi perhitungan dari tipikal-tipikal koordinasi yang telah dipilih.

#### **4.1 Skema Koordinasi Proteksi pada Tanjung Harapan Island**

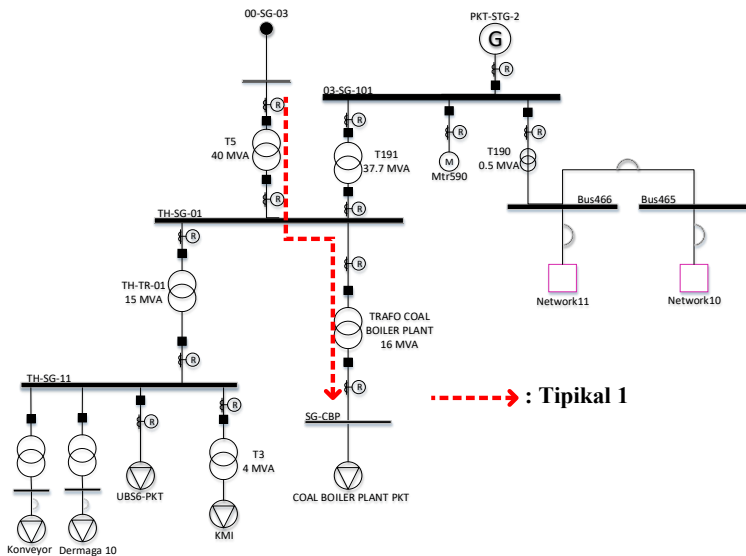
Pada program tugas akhir ini, semua hasil otomatisasi yang dilakukan hanya dapat dilakukan pada kurva rele arus lebih tipe *inverse*. Oleh sebab itu perlu dilakukan penyesuaian pada peralatan dan sistem kelistrikan PT Pupuk Kalimantan Timur, dimana pada kondisi eksisting rele arus lebih yang aktif menggunakan rele *instantaneous* (ANSI 50) dan juga rele *inverse* (ANSI 51) secara bersamaan. Oleh sebab itu perlu dilakukan penonaktifan rele *instantaneous* pada masing-masing rele arus lebih yang akan dilakukan perhitungan dengan program tugas akhir ini.

Untuk menguji program tugas akhir ini, dilakukan beberapa pemilihan tipikal untuk *setting* koordinasi proteksi pada sistem kelistrikan PT Pupuk Kalimantan Timur. Pemilihan tipikal ini dibagi menjadi tiga bagian yang dilakukan untuk menguji tipe beban berdasarkan kurva rele yang ada dan juga menguji selektivitas program terhadap tipe manufaktur rele yang berbeda.

##### **4.1.1 Tipikal 1 : Tanjung Harapan (Beban Terbesar Menuju Outgoing Ring)**

Pada tipikal ini merupakan skema koordinasi beban terbesar yaitu *Lumped Load Coal Boiler Plant* PKT sebesar 17 MVA dengan komposisi tipe beban 80% motor dan 20% statis. Dari beban terbesar terhubung dengan transformator Trafo *Coal Boiler Plant* dengan kapasitas trafo 16 MVA. Setelah itu trafo terhubung juga dengan *main bus* distribusi yang juga terhubung dengan *outgoing ring*. Total rele yang dikoordinasi pada tipikal ini ada empat rele arus lebih (OCR\_INCCBP, OCR\_OUT82, OCR\_INC81, OCR\_SP31). Pada tugas akhir ini, nilai pengaturan yang diatur hanyalah pada rele arus lebih waktu *inverse*

(ANSI 51) dengan skema pemilihan tipe kurva *inverse* dan perhitungan nilai TDS.



**Gambar 4. 1** Skema Koordinasi Tipikal 1 Tanjung Harapan Island

#### 4.1.2 Tipikal 2 : Tanjung Harapan (Beban Terjauh Menuju *Main Bus* Distribusi)

Pada tipikal kedua ini, rele yang diatur pada tugas akhir ini adalah rele pada beban terjauh menuju *main bus* distribusi. Dimana beban terjauh pada Tanjung Harapan Island adalah *lumped load* UBS6-PKT dengan besar 6 MVA dengan komposisi 80% motor dan 20% statis. *Lumped load* UBS6-PKT terhubung dengan bus TH-SG-11 yang juga tersambung dengan trafo TH-TR-01 dengan kapasitas 15 MVA. Dari trafo TH-TR-01 akan tersambung dengan *main bus* distribusi TH-SG-01 yang menjadi ujung skema koordinasi pada tipikal ini. Pada tipikal ini terdapat tiga rele arus lebih tipe *inverse* (ANSI 51) yang akan diatur nilai TDS dan pemilihan kurva *inverse*-nya. Ketiga rele arus lebih itu adalah (OCR OUT2TH, INC THTR01 OCR, dan OCR OUT81).





**Gambar 4. 4** Skema Koordinasi Proteksi Tipikal 1  
Pengaturan rele OCR\_INCCBP, OCR\_OUT82, OCR\_INC81, dan OCR\_SP31 dijelaskan sebagai berikut :

**Gambar 4. 4** Skema Koordinasi Proteksi Tipikal 1  
Pengaturan rele OCR\_INCCBP, OCR\_OUT82, OCR\_INC81, dan OCR\_SP31 dijelaskan sebagai berikut :

**Tabel 4. 1** Data Eksisting Rele Tipikal 1

Relay ID		OCR_INCC BP	OCR_OUT 82	OCR_INC 81	OCR_SP3 1
Merek		Merlin Gerin	Merlin Gerin	Merlin Gerin	Merlin Gerlin
Model		Sepam 1000	Sepam 1000	Sepam 1000	Sepam 1000
Tegangan (kV)		6.9	33	33	33
CT (A)		2000/5	400/5	800/5	800/5
Setting Eksistin g (ANSI 51)	Kurva	<i>Standard Inverse</i>	<i>Standard Inverse</i>	<i>Standard Inverse</i>	<i>Standard Inverse</i>
	Tap CT	0,75	0,7	1,05	0,95
	I <sub>p</sub> (A)	1500	280	840	760
	TDS	0,2	0,3	0,4	1,5
Setting Eksistin g (ANSI 50)	Kurva	<i>Definite Time</i>	<i>Definite Time</i>	<i>Definite Time</i>	<i>Definite Time</i>
	Tap CT	3,3	8	3,5	8,1
	I <sub>p</sub> (A)	6600	3200	2800	6480
	Delay (s)	0,1	0,1	0,5	0,1

Pada tipikal 1, disimulasikan terjadi gangguan hubung singkat tiga fasa 0,5 *cycle* pada bus-bus yang dapat merepresentasikan waktu kerja koordinasi proteksi pada Tanjung Harapan *Island*. Untuk tugas akhir ini hanya dibutuhkan nilai arus hubung singkat maksimal guna mengevaluasi kurva TCC apakah saling bersilangan atau tidak. Nilai arus hubung singkat tiga fasa 0,5 *cycle* dapat dirangkum pada tabel dibawah ini :

**Tabel 4. 2** Data Arus Hubung Singkat Tiga Fasa 0,5 *Cycle* pada Bus SG-CBP

Bus ID	Tegangan (kV)	Arus Hubung Singkat (kA)	Keterangan
SG-CBP	6.9	9,234	OCR_INCCBP
Bus478	33	2,006	OCR_OUT82 (Sisi Primer Trafo Coal Boiler Plant)

**Tabel 4. 3** Data Arus Hubung Singkat Tiga Fasa 0,5 Cycle pada Bus SG-CBP (Lanjutan)

TH-SG-01	33	1,163	OCR INC81
Bus2	33	1,224	OCR_SP31 (Sisi Primer Trafo Isolasi TH)

**Tabel 4. 4** Data Arus Hubung Singkat Tiga Fasa 0,5 Cycle pada Bus Bus478

Bus ID	Tegangan (kV)	Arus Hubung Singkat (kA)	Keterangan
Bus478	33	6,775	OCR_OUT82 (Sisi Primer Trafo <i>Coal Boiler Plant</i> )
TH-SG-01	33	3,928	OCR INC81
Bus2	33	4,134	OCR_SP31 (Sisi Primer Trafo Isolasi TH)

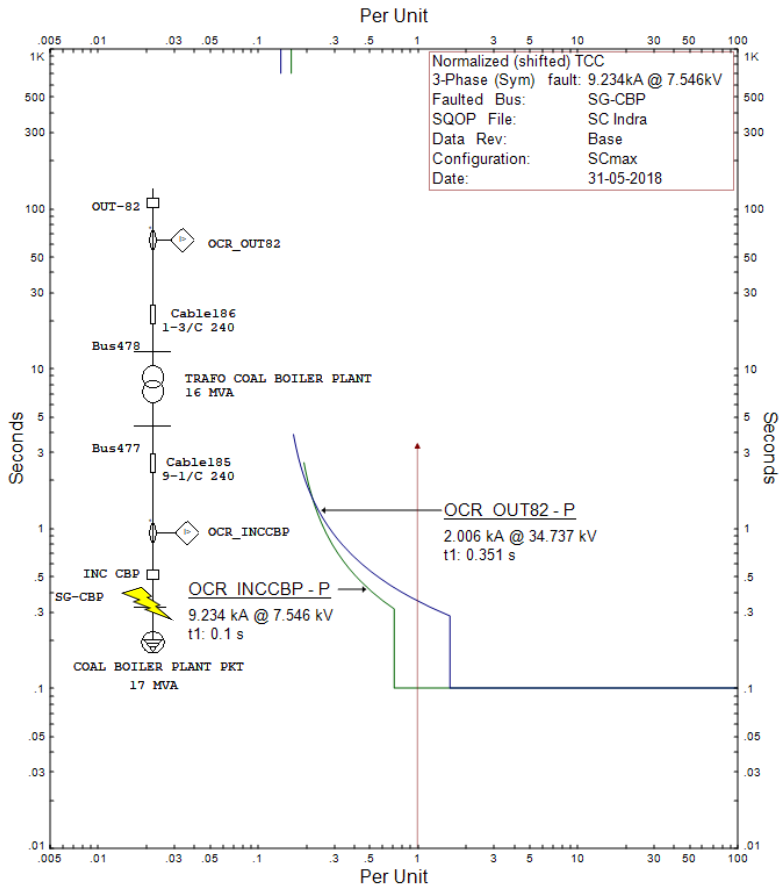
**Tabel 4. 5** Data Arus Hubung Singkat Tiga Fasa 0,5 Cycle pada Bus TH-SG-01

Bus ID	Tegangan (kV)	Arus Hubung Singkat (kA)	Keterangan
TH-SG-01	33	3,933	OCR INC81
Bus2	33	4,14	OCR_SP31 (Sisi Primer Trafo Isolasi TH)

**Tabel 4. 6** Data Arus Hubung Singkat Tiga Fasa 0,5 Cycle pada Bus2

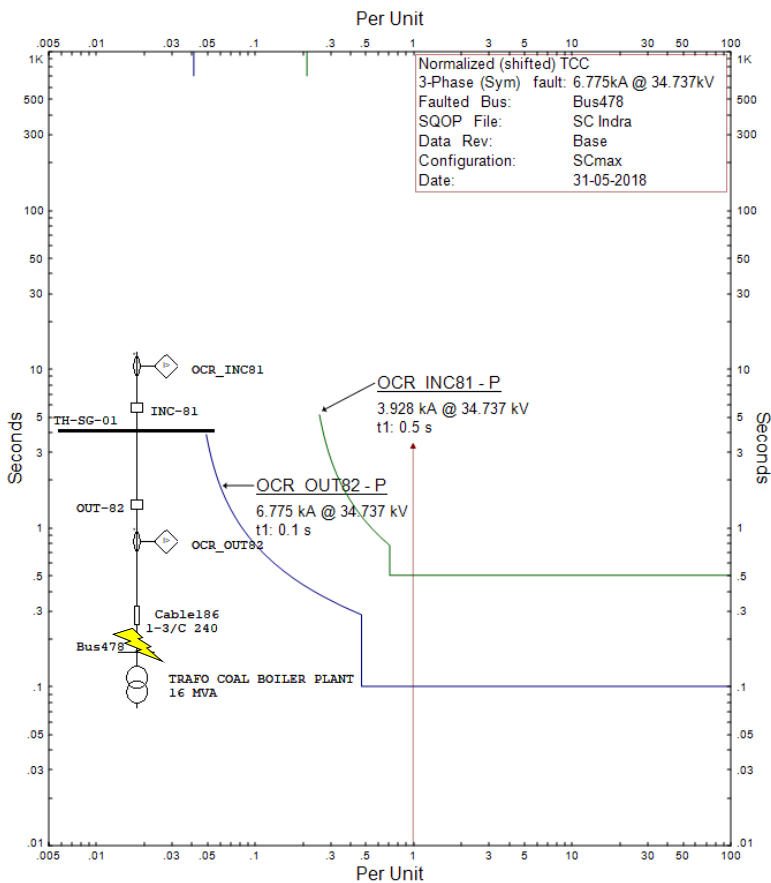
Bus ID	Tegangan (kV)	Arus Hubung Singkat (kA)	Keterangan
Bus2	33	14,585	OCR_SP31 (Sisi Primer Trafo Isolasi TH)

Setelah didapat data arus hubung singkat tiga fasa 0,5 cycle, maka dapat disimulasikan kejadian hubung singkat tersebut untuk mendapatkan kurva *time-current characteristic* (TCC) untuk melihat skema koordinasi proteksi pada saat terjadi gangguan yang dapat dilihat pada kurva-kurva dibawah ini :

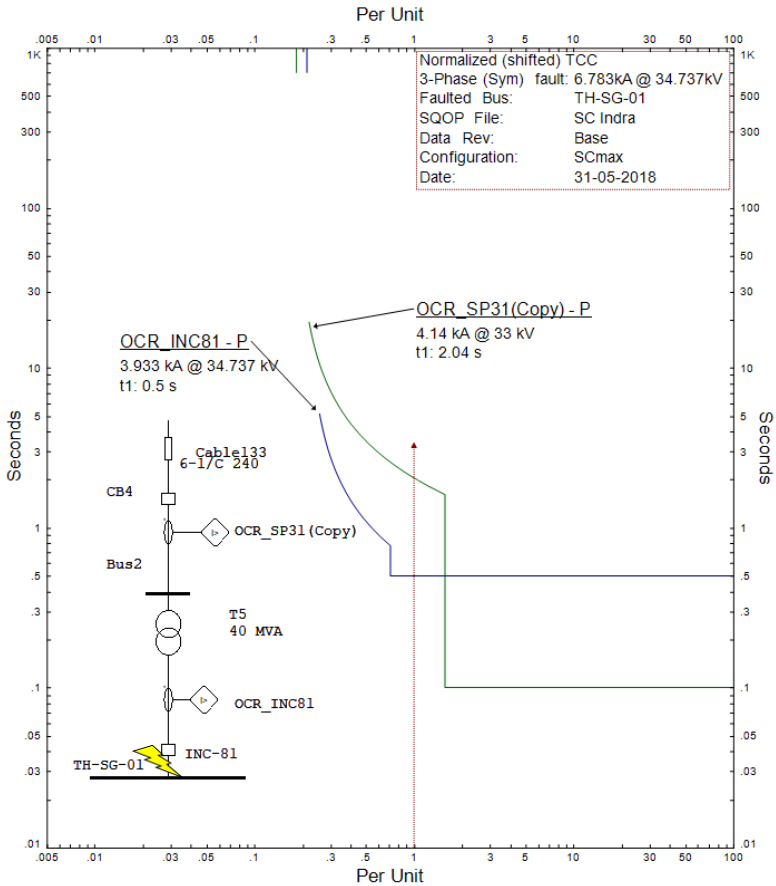


**Gambar 4. 5** Tipikal 1 Hubung Singkat 3 Fasa 0,5 Cycle pada Bus SG-CBP

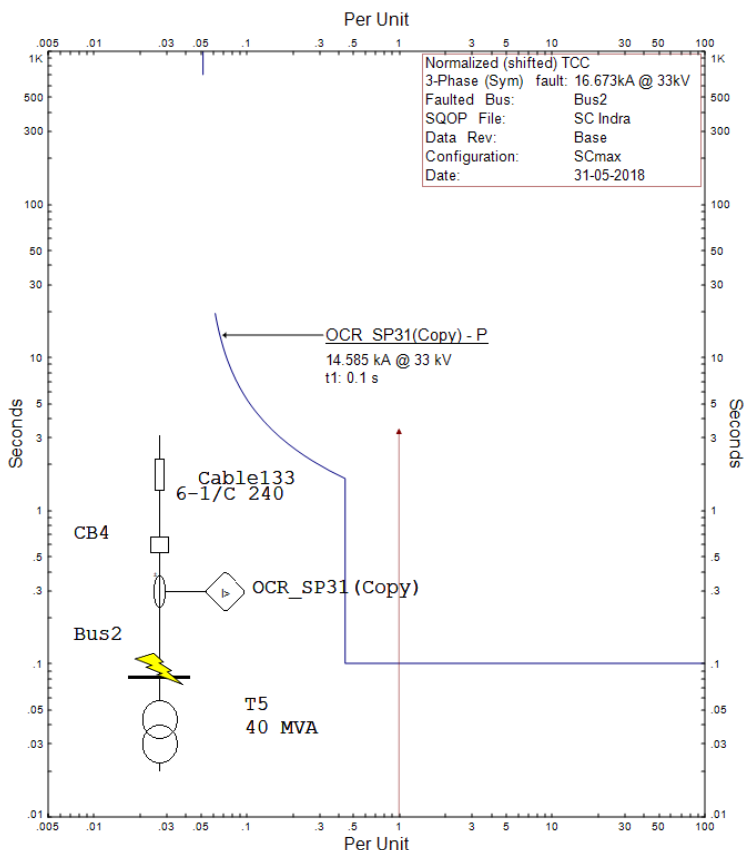




**Gambar 4. 6** Tipikal 1 Hubung Singkat 3 Fasa 0,5 Cycle pada Bus478



**Gambar 4. 7** Tipikal 1 Hubung Singkat 3 Fasa 0,5 Cycle pada Bus TH-SG-01



**Gambar 4. 8** Tipikal 1 Hubung Singkat 3 Fasa 0,5 Cycle pada Bus2

Dari hasil simulasi diatas, dapat dirangkum waktu operasi rele pada tipikal 1 dengan lokasi bus yang telah ditentukan sebelumnya yang dapat dilihat pada tabel dibawah :

**Tabel 4. 7** Data Waktu Operasi Tipikal 1 SC Bus SG-CBP

No	Rele	Waktu Operasi (s)	Keterangan
1	OCR_INCCBP	0,1	Rele Primer
2	OCR_OUT82	0,351	Rele <i>Backup</i>
3	OCR_INC81	2,88	-
4	OCR_SP31	7,6	-

**Tabel 4. 8** Data Waktu Operasi Tipikal 1 SC Bus Bus478

No	Rele	Waktu Operasi (s)	Keterangan
1	OCR_INCCBP	-	-
2	OCR_OUT82	0,1	Rele Primer
3	OCR_INC81	0,5	Rele <i>Backup</i>
4	OCR_SP31	2,046	-

**Tabel 4. 9** Data Waktu Operasi Tipikal 1 SC Bus TH-SG-01

No	Rele	Waktu Operasi (s)	Keterangan
1	OCR_INCCBP	-	-
2	OCR_OUT82	-	-
3	OCR_INC81	0,5	Rele Primer
4	OCR_SP31	2,045	Rele <i>Backup</i>

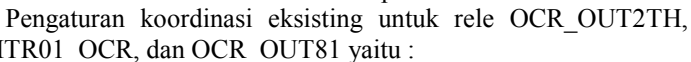
**Tabel 4. 10** Data Waktu Operasi Tipikal 1 SC Bus Bus2

No	Rele	Waktu Operasi (s)	Keterangan
1	OCR_INCCBP	-	-
2	OCR_OUT82	-	-
3	OCR_INC81	1,081	Rele Primer Arus Kontribusi Generator
4	OCR_SP31	0,1	Rele Primer Arus Kontribusi <i>Outgoing Ring</i>

#### 4.2.2 Data Sistem Proteksi Eksisting Tipikal 2

Pada tipikal kedua merupakan skema koordinasi antara beban terjauh pada Tanjung Harapan *Island* sampai dengan *main bus* distribusi TH-SG-01. Pada beban ini terdapat tiga rele yang akan dikomputasi kedalam program untuk menentukan tipe kurva dan juga nilai TDS. Beban terjauh yang digunakan pada tipikal ini adalah beban *lumped load* UBS6-PKT dengan besar 6 MVA yang terdiri dari 80% beban motor dan 20% beban statis. Beban ini diberi rele pengaman arus lebih OCR\_OUT2TH yang dilengkapi dengan CT 1250/5 A. Setelah itu rele terhubung pada bus TH-SG-11 dengan level tegangan 11 kV yang diberi

**Gambar 4. 9** Skema Koordinasi Proteksi Tipikal 2



<i>Relay ID</i>	OCR_OUT2TH	INC_THTR01_OCR	OCR_OUT81
Merek	Merlin Gerin	Merlin Gerin	Merlin Gerin
Model	Sepam 1000	Sepam 1000	Sepam 1000
Tegangan (kV)	11	11	33
CT (A)	1250/5	2000/5	400/5

**Tabel 4. 12** Data Eksisting Rele Tipikal 2 (Lanjutan)

Setting Eksisting (ANSI 51)	Kurva	<i>Standard Inverse</i>	<i>Standard Inverse</i>	<i>Standard Inverse</i>
	Tap CT	0,3	0,4	0,7
	I <sub>p</sub> (A)	375	800	280
	TDS	0,2	0,3	0,3
Setting Eksisting (ANSI 50)	Kurva	<i>Definite Time</i>	<i>Definite Time</i>	<i>Definite Time</i>
	Tap CT	2	1,1	6,1
	I <sub>p</sub> (A)	2500	2200	2440
	Delay (s)	0,1	0,3	0,1

Untuk data arus hubung singkat tiga fasa 0,5 *cycle* tipikal 2 dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

**Tabel 4. 13** Data Arus Hubung Singkat Tiga Fasa 0,5 *Cycle* pada Bus UBS6-PKT

Bus ID	Tegangan (kV)	Arus Hubung Singkat (kA)	Keterangan
UBS6-PKT	11	6,601	OCR OUT2TH
TH-SG-11	11	5,345	INC THTR01 OCR
Bus480	33	1,851	OCR OUT81

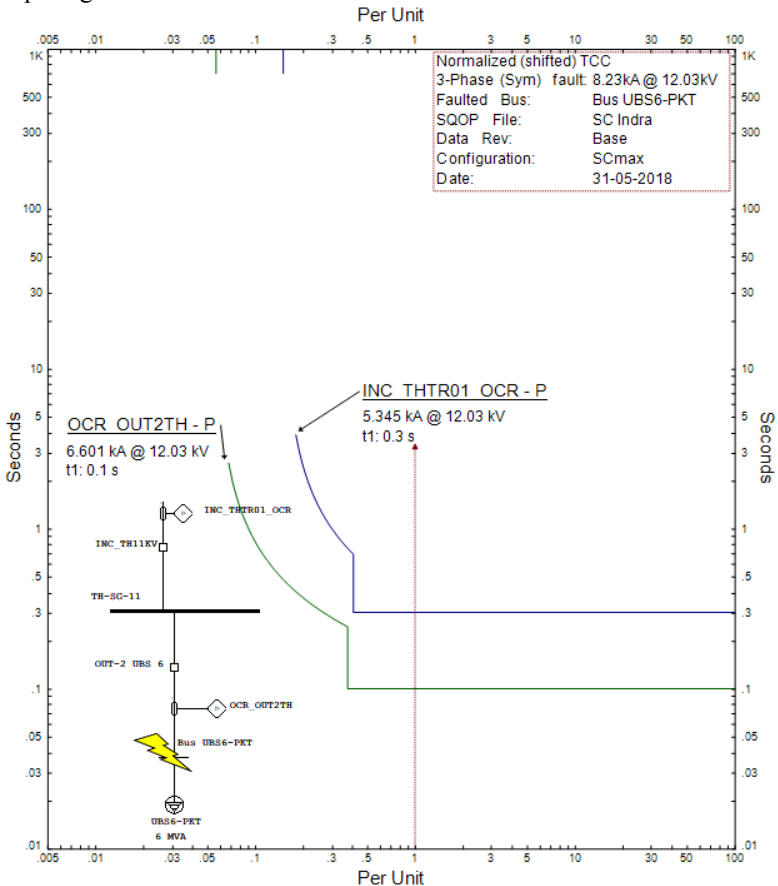
**Tabel 4. 14** Data Arus Hubung Singkat Tiga Fasa 0,5 *Cycle* pada Bus TH-SG-11

Bus ID	Tegangan (kV)	Arus Hubung Singkat (kA)	Keterangan
TH-SG-11	11	5,345	INC THTR01 OCR
Bus480	33	1,851	OCR OUT81

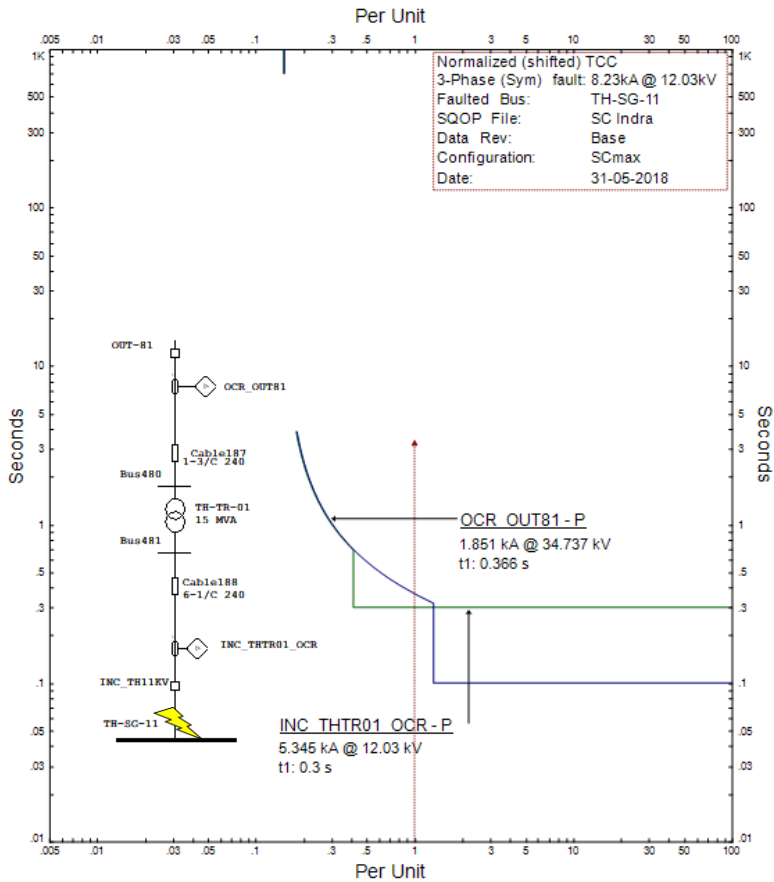
**Tabel 4. 15** Data Arus Hubung Singkat Tiga Fasa 0,5 *Cycle* pada Bus Bus480

Bus ID	Tegangan (kV)	Arus Hubung Singkat (kA)	Keterangan
Bus480	33	6,016	OCR OUT81

Setelah didapat nilai arus hubung singkat tiga fasa 0,5 cycle dari masing-masing bus yang diperlukan untuk pengaturan koordinasi proteksi tipikal 2, maka langkah selanjutnya adalah membuat plot kurva TCC seperti gambar dibawah ini :

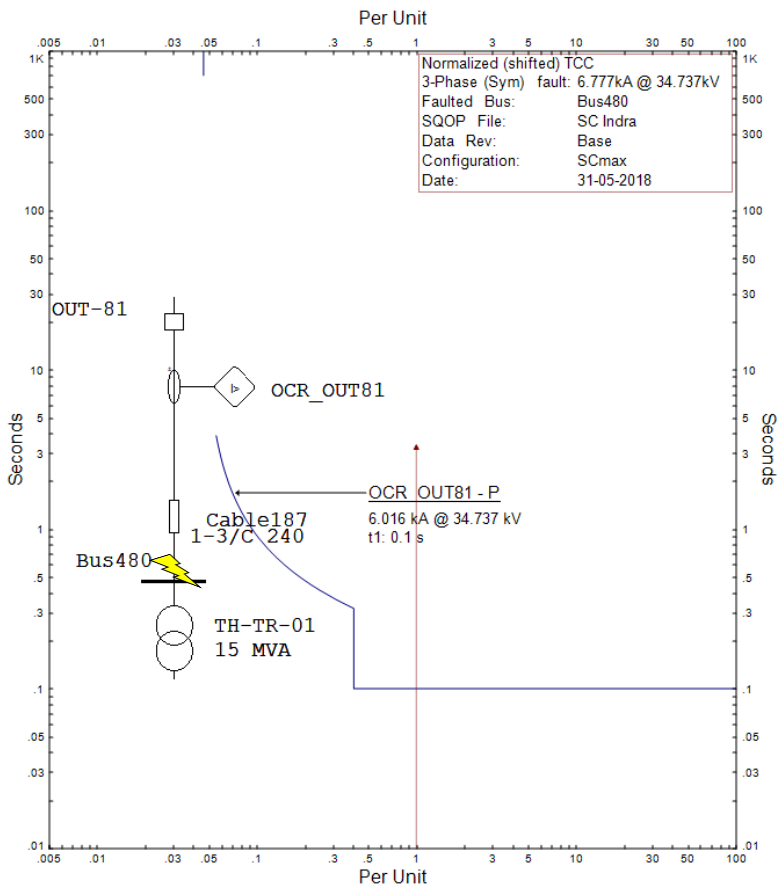


**Gambar 4. 10** Tipikal 2 Hubung Singkat 3 Fasa 0,5 Cycle pada Bus UBS6-PKT



**Gambar 4. 11** Tipikal 2 Hubung Singkat 3 Fasa 0,5 Cycle pada Bus TH-SG-11





**Gambar 4. 12** Tipikal 2 Hubung Singkat 3 Fasa 0,5 Cycle pada Bus480

Dari data-data tipikal 2 diatas dapat dirangkum waktu operasi rele sesuai dengan titik gangguan yang telah ditentukan dalam tabel dibawah ini :

**Tabel 4. 16** Data Waktu Operasi Tipikal 2 SC Bus UBS6-PKT

No	Rele	Waktu Operasi (s)	Keterangan
1	OCR_OUT2TH	0,1	Rele Primer
2	INC THTR01 OCR	0,3	Rele Backup
3	OCR_OUT81	0,366	Rele Backup

**Tabel 4. 17** Data Waktu Operasi Tipikal 2 SC Bus TH-SG-11

No	Rele	Waktu Operasi (s)	Keterangan
1	OCR_OUT2TH	-	-
2	INC_THTR01 OCR	0,3	Rele Primer
3	OCR_OUT81	0,366	Rele Backup

**Tabel 4. 18** Data Waktu Operasi Tipikal 2 SC Bus480

No	Rele	Waktu Operasi (s)	Keterangan
1	OCR_OUT2TH	-	-
2	INC_THTR01 OCR	-	-
3	OCR_OUT81	0,1	Rele Primer

#### 4.2.3 Data Sistem Proteksi Eksisting Tipikal 3

Pada tipikal 3 merupakan skema koordinasi proteksi dari *main bus* distribusi TH-SG-01 hingga generator PKT-STG-2. Ada beberapa hal yang berbeda pada tipikal ini, karena pada tipikal sebelumnya hanya menggunakan satu tipe rele yang sama. Tetapi pada tipikal ini ada dua tipe manufaktur rele yang digunakan. Yaitu ABB SPAJ140C dan juga Merlin Gerin Sepam 1000. Dimulai dari bus TH-SG-01 dengan level tegangan 33 kV yang dilindungi oleh rele arus lebih OCR\_INC82 yang dilengkapi dengan CT 800/5 A. Lalu terhubung dengan trafo T191 berkapasitas 37.7 MVA dan pada ujung tipikal ini adalah rele pelindung generator 30 MW PKT-STG-2, gambar dari skema koordinasi tipikal 3 dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



**Tabel 4. 20** Data Eksisting Rele Tipikal 3 (Lanjutan)

Setting Eksisting (ANSI 50)	Kurva	<i>Definite Time</i>	<i>Definite Time</i>	<i>Definite Time</i>
	Tap CT	1,4	2,5	2
	I <sub>p</sub> (A)	1120	5000	5000
	Delay (s)	0,3	0,3	0,5

Data hubung singkat tiga fasa 0,5 *cycle* untuk tipikal 3 disajikan pada tabel dibawah ini :

**Tabel 4. 21** Data Arus Hubung Singkat Tiga Fasa 0,5 *Cycle* pada Bus TH-SG-01

Bus ID	Tegangan (kV)	Arus Hubung Singkat (kA)	Keterangan
TH-SG-01	33	2,09	OCR INC82
Bus471	11	6,271	ONCR INCTI03SG101
03-SG-101	11	5,62	OCR INCG03SG101

**Tabel 4. 22** Data Arus Hubung Singkat Tiga Fasa 0,5 *Cycle* pada Bus471

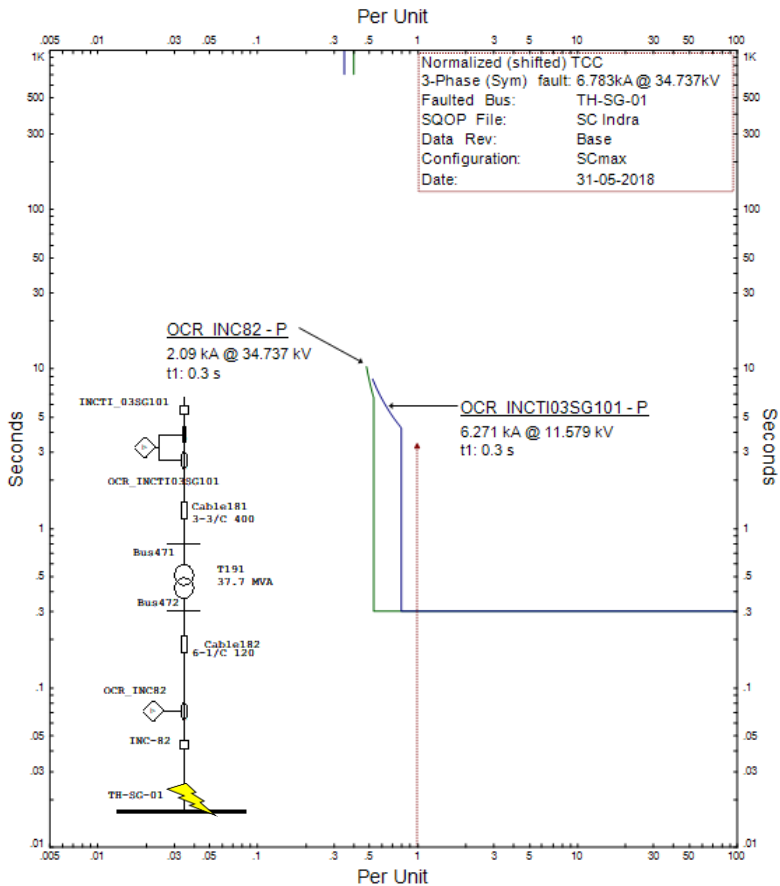
Bus ID	Tegangan (kV)	Arus Hubung Singkat (kA)	Keterangan
TH-SG-01	33	2,329	OCR INC82
Bus471	11	11,439	ONCR INCTI03SG101
03-SG-101	11	10,252	OCR INCG03SG101

**Tabel 4. 23** Data Arus Hubung Singkat Tiga Fasa 0,5 *Cycle* pada 03-SG-101

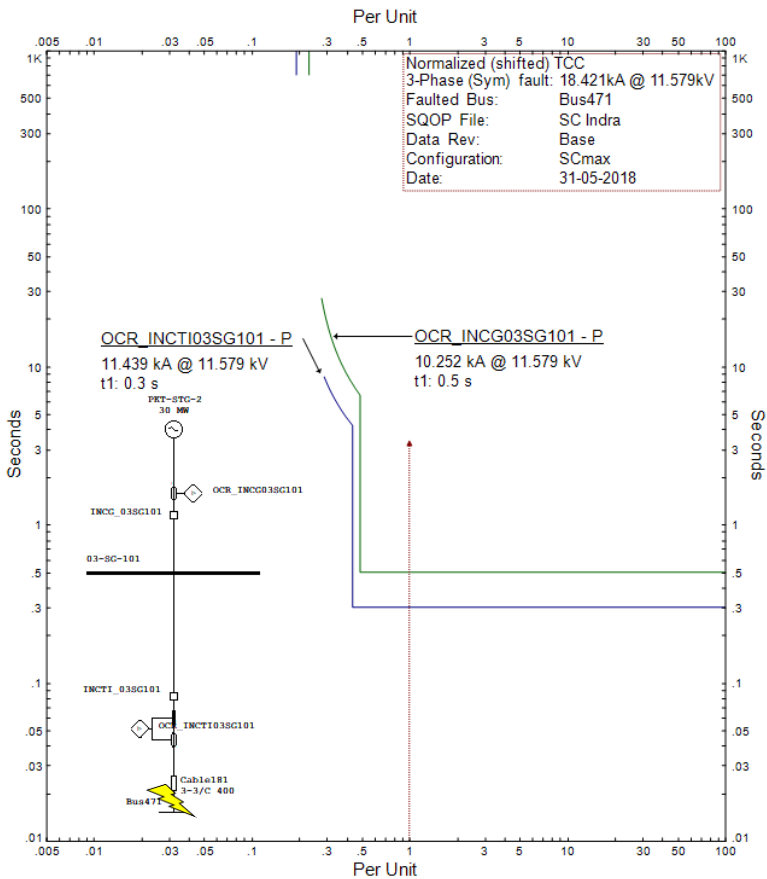
Bus ID	Tegangan (kV)	Arus Hubung Singkat (kA)	Keterangan
TH-SG-01	33	2,322	OCR INC82
Bus471	11	6,966	ONCR INCTI03SG101
03-SG-101	11	10,3	OCR INCG03SG101

Setelah didapat nilai arus hubung singkat tiga fasa 0,5 *cycle* dari masing-masing bus yang diperlukan untuk pengaturan koordinasi proteksi

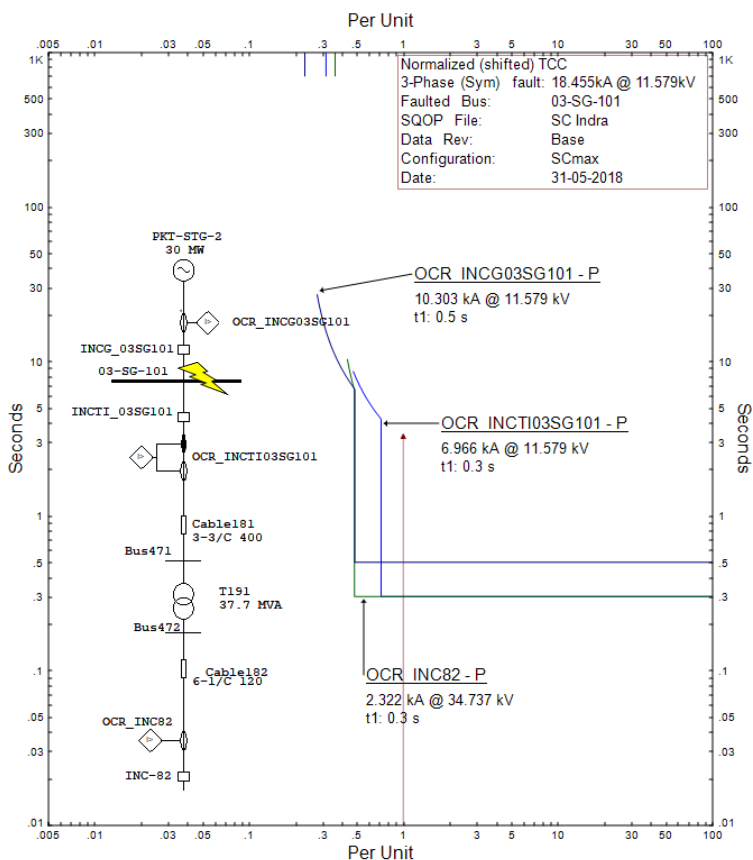
tipikal 2, maka langkah selanjutnya adalah membuat plot kurva TCC seperti gambar dibawah ini :



**Gambar 4. 14** Tipikal 3 Hubung Singkat 3 Fasa 0,5 Cycle pada Bus TH-SG-01



**Gambar 4. 15** Tipikal 3 Hubung Singkat 3 Fasa 0,5 Cycle pada Bus471



**Gambar 4. 16** Tipikal 3 Hubung Singkat 3 Fasa 0,5 Cycle pada 03-SG-101

Setelah didapat plot kurva TCC dari masing-masing rele, maka dapat dirangkum waktu kerja rele pada tipikal 3 pada tabel dibawah ini :

**Tabel 4. 24** Data Waktu Operasi Tipikal 3 SC Bus TH-SG-01, Bus471, Bus 03-SG-101

No	Rele	Waktu Operasi (s)	Keterangan
1	OCR INC82	0,3	Rele Primer
2	OCR INCTI03SG101	0,3	Rele Backup
3	OCR INCG03SG101	0,5	Rele Backup

#### 4.3 Perhitungan TDS dan Pemilihan Kurva dengan *Numerical computation* pada Sistem Kelistrikan Tanjung Harapan Island

Setelah didapat data proteksi koordinasi dari sistem eksisting PT Pupuk Kalimantan Timur, data tersebut digunakan sebagai acuan *setting* proteksi rele arus lebih dengan menggunakan *numerical computation*. Nilai operasi acuan digunakan untuk mendapatkan hasil yang diharapkan sesuai dengan kondisi proteksi yang sudah ada pada PT Pupuk Kalimantan Timur. Proses dari perhitungan menggunakan *numerical computation* secara singkat telah dituliskan pada Bab 3. Berikut merupakan informasi tambahan yang ada pada program ini :

1. Masukkan nilai yang diperlukan dalam perhitungan ini meliputi nilai arus gangguan primer dan sekunder, level tegangan rele, FLA, nilai primer CT rele, dan jumlah rele yang akan diotomatisasi.
2. Pada program tugas akhir ini mengacu pada kondisi peralatan di Tanjung Harapan *Island* dengan pilihan manufaktur rele Merlin Gerin Sepam 1000 dan ABB SPAJ 140C yang karakteristik tiap manufakturnya sudah dimasukkan kedalam rele.
3. Nilai opsi TDS dan Tap CT sudah disesuaikan sesuai dengan manufaktur rele yang dipilih.
4. Keterbatasan pembacaan waktu operasi rele (*saturated point*) sudah dimasukkan kedalam fungsi program, sehingga ketika terjadi kondisi dimana nilai arus gangguan sangat besar dan melebihi batas pembacaan dapat disesuaikan dengan fungsi *saturated point* dari masing-masing rele.
5. Nilai untuk CTI dapat disesuaikan dengan kebutuhan *setting* proteksi dengan batas bawah 0,2 detik untuk rele pada level tegangan yang sama.
6. Pada *setting*  $I_{pickup}$  menggunakan persamaan :

$$I_{pickup}(A) = 1,2 * FLA \quad (4.1)$$

Dengan pembulatan tap CT sesuai dengan *step* manufaktur rele yang digunakan. Dimana nilai  $I_{set}$  rele dapat dicari dengan persamaan :

$$I_{set} = \frac{I_{pickup}(A)}{Primer CT(A)} \quad (4.2)$$



#### 4.3.1 Perhitungan TDS dan Pemilihan Kurva Tipikal 1 dengan *Numerical computation*

Sebelum memulai perhitungan, berikut disajikan informasi tiap rele yang digunakan dalam perhitungan koordinasi proteksi tipikal 1 menggunakan *numerical computation*. Untuk memudahkan penamaan rele dalam program, maka nama rele eksisting disesuaikan dengan rincian OCR\_INCCBP menjadi Rele 1, OCR\_OUT82 menjadi Rele 2, OCR\_INC81 menjadi Rele 3, dan OCR\_SP31 menjadi Rele 4.

- OCR\_INCCBP

Merek	: Merlin Gerin
ID Program	: Rele 1
Model	: Sepam 1000
Tegangan	: 6.9 kV
CT	: 2000/5 A
Tap CT	: 0,3 ~ 2,4 dengan <i>step</i> 0,05
<i>Output</i>	: INC CBP
<i>Range</i> TDS	: 0,1 ~ 12,5 dengan <i>step</i> 0,1
Pilihan Kurva	: IEC Standard Inverse IEC Very Inverse IEC Ultra Inverse IEC Extremely Inverse.

- OCR\_OUT82

Merek	: Merlin Gerin
ID Program	: Rele 2
Model	: Sepam 1000
Tegangan	: 33 kV
CT	: 400/5 A
Tap CT	: 0,3 ~ 2,4 dengan <i>step</i> 0,05
<i>Output</i>	: OUT-82
<i>Range</i> TDS	: 0,1 ~ 12,5 dengan <i>step</i> 0,1
Pilihan Kurva	: IEC Standard Inverse IEC Very Inverse IEC Ultra Inverse IEC Extremely Inverse.

- OCR\_INC81

Merek	: Merlin Gerin
ID Program	: Rele 3

Model : Sepam 1000  
 Tegangan : 33 kV  
 CT : 800/5 A  
 Tap CT : 0,3 ~ 2,4 dengan *step* 0,05  
 Output : INC-81  
 Range TDS : 0,1 ~ 12,5 dengan *step* 0,1  
 Pilihan Kurva : IEC Standard Inverse  
                   IEC Very Inverse  
                   IEC Ultra Inverse  
                   IEC Extremely Inverse.

• OCR\_SP31

Merek : Merlin Gerin  
 ID Program : Rele 4  
 Model : Sepam 1000  
 Tegangan : 33 kV  
 CT : 800/5 A  
 Tap CT : 0,3 ~ 2,4 dengan *step* 0,05  
 Output : SP-31  
 Range TDS : 0,1 ~ 12,5 dengan *step* 0,1  
 Pilihan Kurva : IEC Standard Inverse  
                   IEC Very Inverse  
                   IEC Ultra Inverse  
                   IEC Extremely Inverse

Dimulai dengan data-data masukkan yang diperlukan program untuk memulai perhitungan dengan *numerical computation*. Dimana data-data masukkan program disajikan sebagai berikut :

**Tabel 4. 25** Tabel Input Tipikal 1 *Numerical computation*

ID Rele	Isc Primer (A)	Isc Backup (A)	CT Primer Rele	FLA (A)	Level Tegangan Rele (kV)
Rele 1	9234	0	2000	1339	6.9
Rele 2	6775	2006	400	279.9	33
Rele 3	3933	3928	800	699.8	33
Rele 4	14585	4140	800	699.8	33

Pada program, input nilai koordinasi proteksi tipikal 1 dapat dilihat pada gambar dibawah :

```
Masukkan jumlah rele yang ingin disetting :4
Masukkan arus gangguan primer Rele 1 sampai Rele ke 4 (A) :[9234,6775,3933,14585]
Masukkan arus gangguan sekunder Rele 1 sampai Rele ke 4 (A) :[0,2006,3928,4140]
Masukkan level tegangan Rele 1 sampai Rele ke 4 (kV) :[6.9,33,33,33]
Masukkan nilai FLA Rele 1 sampai Rele ke 4 A :[1339,279.9,3933,14585]
Masukkan nilai Primer CT Rele 1 sampai Rele ke 4 A :[2000,400,800,800]
```

**Gambar 4. 17** Input Data Tipikal 1 *Numerical computation*

Setelah memasukkan data-data yang diperlukan untuk perhitungan kedalam *numerical computation*, langkah selanjutnya adalah memasukkan waktu kerja awal Rele 1 sesuai dengan anuan koordinasi eksisting Tanjung Harapan *Island* dengan nilai 0,1 detik. Dimana didapatkan nilai *setting* Rele 1 yang telah dipilih dari perbandingan waktu kerja empat kurva pada Merlin Gerin Sepam 1000. Dimana nilai nilai operasi pada tiap jenis kurva dituliskan dalam tabel berikut :

**Tabel 4. 26** Waktu Operasi Rele 1 Tipikal 1

Rele 1	<i>Standard Inverse</i>	<i>Very Inverse</i>	<i>Ultra Inverse</i>	<i>Extremely Inverse</i>
<b>Waktu Operasi (s)</b>	0,1321	0,1886	0,3987	0,3065

Dari algoritma *numerical computation* yang telah dijelaskan pada Bab 3.1.2 dipilihlah nilai minimal dengan kurva *Standard Inverse* dengan waktu operasi 0,1321 detik. Setelah didapatkan nilai terbaik antara keempat kurva *inverse* yang dibandingkan, program akan menampilkan *setting* Rele 1 :

```
(1). Merlin Gerin SEPAM 1000
(2). ABB SPAJ 140C
Pilih manufaktur rele yang digunakan :1
*****
Kurva Rele 1 = IEC Standard Inverse
Nilai TDS Rele 1 yang harus disetting adalah : 0.1
Nilai Tap CT Rele 1 yang harus disetting adalah : 0.8
Waktu Kerja Rele 1 Sebagai Rele Primer : 0.13212 (s)
*****
```

**Gambar 4. 18** *Setting* Rele 1 Tipikal 1

Setelah didapatkan nilai *setting* Rele 1, program akan melanjutkan untuk menghitung nilai *setting* Rele 2. Sebelum memulai perhitungan Rele 2, program akan mengevaluasi level tegangan Rele 1 dan level tegangan Rele 2. Jika level tegangan Rele 2 lebih besar dari level tegangan Rele 1 maka nilai CTI diabaikan dan waktu operasi minimal Rele 2 adalah waktu operasi Rele 1. Dimana sebaran waktu operasi Rele 2 pada program dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

**Tabel 4. 27 Waktu Operasi Rele 2 Tipikal 1**

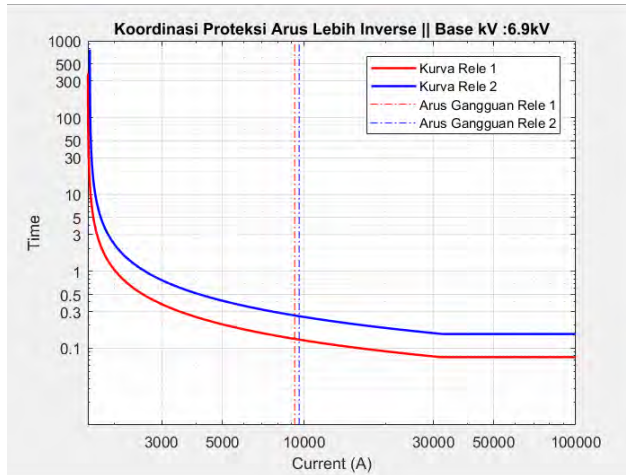
Rele 2	<i>Standard Inverse</i>	<i>Very Inverse</i>	<i>Ultra Inverse</i>	<i>Extremely Inverse</i>
<b>Waktu Operasi (s)</b>	0,2609	0,5510	2,2620	1,4642

Dari algoritma *numerical computation* yang telah dijelaskan pada Bab 3.1.2 dipilihlah nilai minimal dengan kurva *Standard Inverse* dengan waktu operasi 0,2609 detik. Setelah didapatkan nilai terbaik antara keempat kurva *inverse* yang dibandingkan, program akan menampilkan *setting* Rele 2 :

```
(1). Merlin Gerin SEPAM 1000
(2). ABB SPAJ 140C
Pilih manufaktur rele yang digunakan :1
*****
Kurva Rele 2 = IEC Standard Inverse
Nilai TDS Rele 2 yang harus disetting adalah : 0.2
Nilai Tap CT Rele 2 yang harus disetting adalah : 0.85
Waktu Kerja Rele 2 adalah (s) :
Backup : 0.26089 detik      Primer : 0.15288 detik
*****
```

**Gambar 4. 19 Setting Rele 2 Tipikal 1**

Setelah didapat nilai *setting* dari Rele 1 dan Rele 2, program akan membuat *plot* kurva koordinasi antara Rele 1 dan Rele 2 pada titik gangguan Bus SG-CBP.



**Gambar 4. 20** Kurva Koordinasi Rele 1 & Rele 2 Tipikal 1

Sebelum menentukan *setting* Rele 3, program menemukan bahwa level tegangan Rele 3 sama dengan Rele 2. Sehingga nilai CTI harus diisi untuk menentukan *setting* Rele 3. Dimana berdasarkan data *eksisting* nilai CTI untuk Rele 2 dan Rele 3 adalah 0,2 detik. Setelah mendapatkan nilai CTI program akan mencari nilai minimum operasi Rele 3 yang disajikan pada tabel dibawah ini :

**Tabel 4. 28** Waktu Operasi Rele 3 Tipikal 1

Rele 3	<i>Standard Inverse</i>	<i>Very Inverse</i>	<i>Ultra Inverse</i>	<i>Extremely Inverse</i>
<b>Waktu Operasi (s)</b>	0,4514	0,4896	0,6806	0,4745

Program akan memilih nilai minimum dengan tipe kurva *Standard Inverse* dengan waktu operasi 0,4514 detik. Sehingga untuk nilai *setting* Rele 3 dapat dilihat pada gambar dibawah.

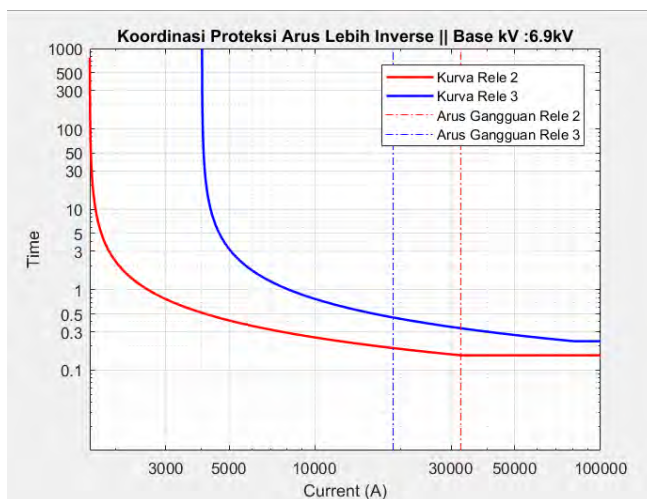
```

(1). Merlin Gerin SEPAM 1000
(2). ABB SPAJ 140C
Pilih manufaktur rele yang digunakan :1
Masukkan nilai CTI yang diinginkan : 0.2
*****
Kurva Rele 3 = IEC Standard Inverse
Nilai TDS Rele 3 yang harus disetting adalah : 0.3
Nilai Tap CT Rele 3 yang harus disetting adalah : 1.05
Waktu Kerja Rele 3 adalah (s) :
Backup : 0.45136 detik          Primer : 0.45099 detik
*****

```

#### Gambar 4. 21 Setting Rele 3 Tipikal 1

Setelah didapat nilai *setting* Rele 3, maka program akan membuat *plot* kurva Rele 2 dan Rele 3 pada titik gangguan Bus 478.



#### Gambar 4. 22 Kurva Koordinasi Rele 2 & Rele 3 Tipikal 1

Pada pengaturan Rele 4 juga ditemukan nilai tegangan yang sama dengan Rele 3, sehingga nilai CTI harus diisi dengan nilai 0,2 detik sesuai dengan acuan data eksisting. Sehingga didapat waktu operasi Rele 4 sebagai berikut :

**Tabel 4. 29 Waktu Operasi Rele 4 Tipikal 1**

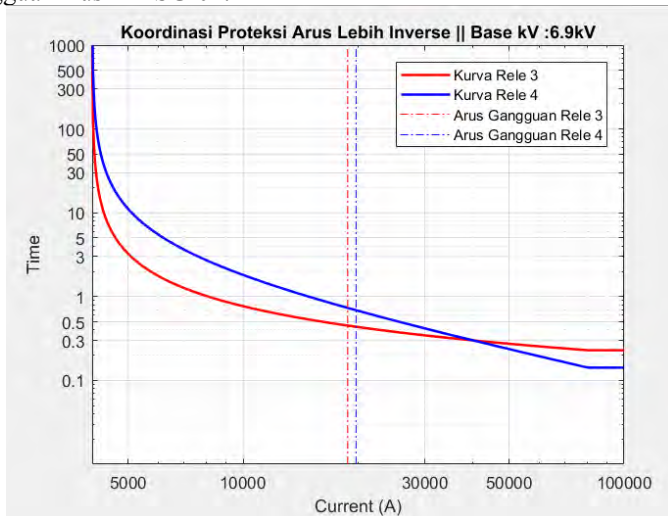
Rele 4	<i>Standard Inverse</i>	<i>Very Inverse</i>	<i>Ultra Inverse</i>	<i>Extremely Inverse</i>
<b>Waktu Operasi (s)</b>	0,7271	0,6873	1,1903	0,8502

Sehingga program akan memilih untuk menggunakan kurva *Very Inverse* dengan waktu operasi 0,6873 detik. Nilai *setting* Rele 3 dapat dilihat pada gambar dibawah.

```
(1). Merlin Gerin SEPAM 1000
(2). ABB SPAJ 140C
Pilih manufaktur rele yang digunakan :1
Masukkan nilai CTI yang diinginkan : 0.2
*****
Kurva Rele 4 = IEC Very Inverse
Nilai TDS Rele 4 yang harus disetting adalah : 0.3
Nilai Tap CT Rele 4 yang harus disetting adalah : 1.05
Waktu Kerja Rele 4 adalah (s) :
Backup : 0.68727 detik      Primer : 0.16501 detik
*****
```

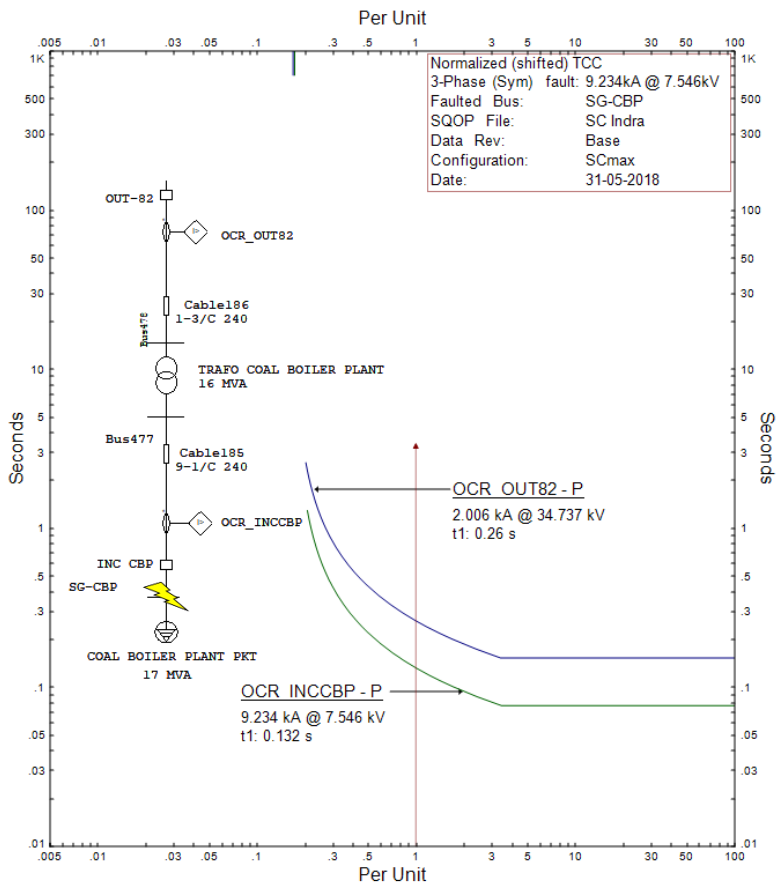
#### Gambar 4. 23 Setting Rele 4 Tipikal 1

Setelah didapat nilai *setting* Rele 4, maka program akan dengan otomatis membuat *plot* kurva koordinasi antara Rele 3 dan Rele 4 pada titik gangguan Bus TH-SG-01.



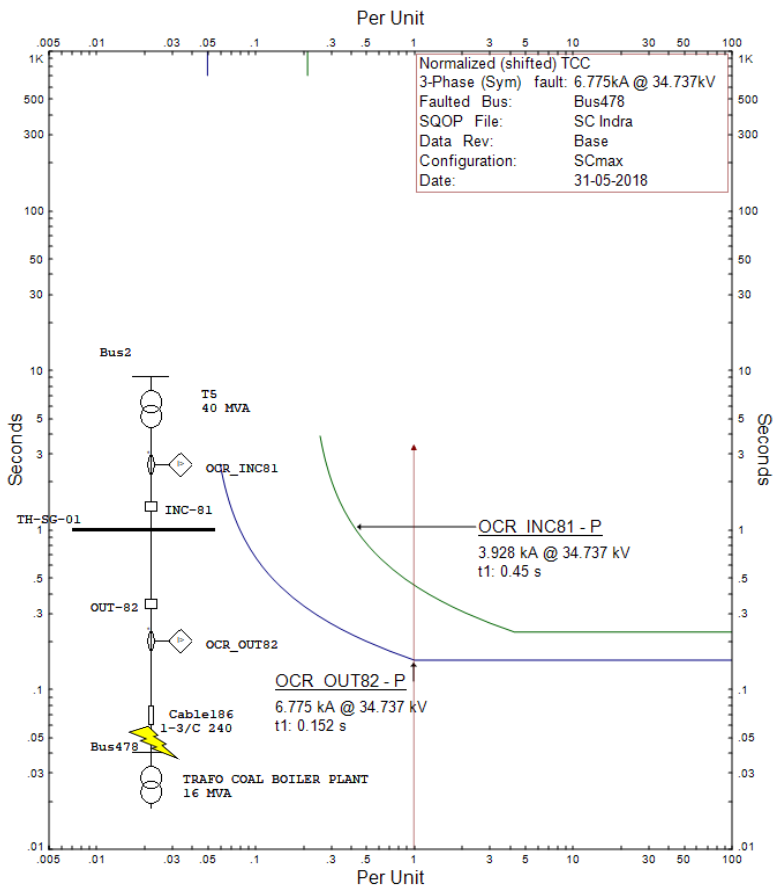
#### Gambar 4. 24 Kurva Koordinasi Rele 3 & Rele 4 Tipikal 1

Setelah didapatkan nilai *setting* dari program tugas akhir dilakukan evaluasi menggunakan program ETAP 12.6.0. untuk mendapatkan waktu operasi masing-masing rele, dengan kurva TCC sebagai dibawah ini :

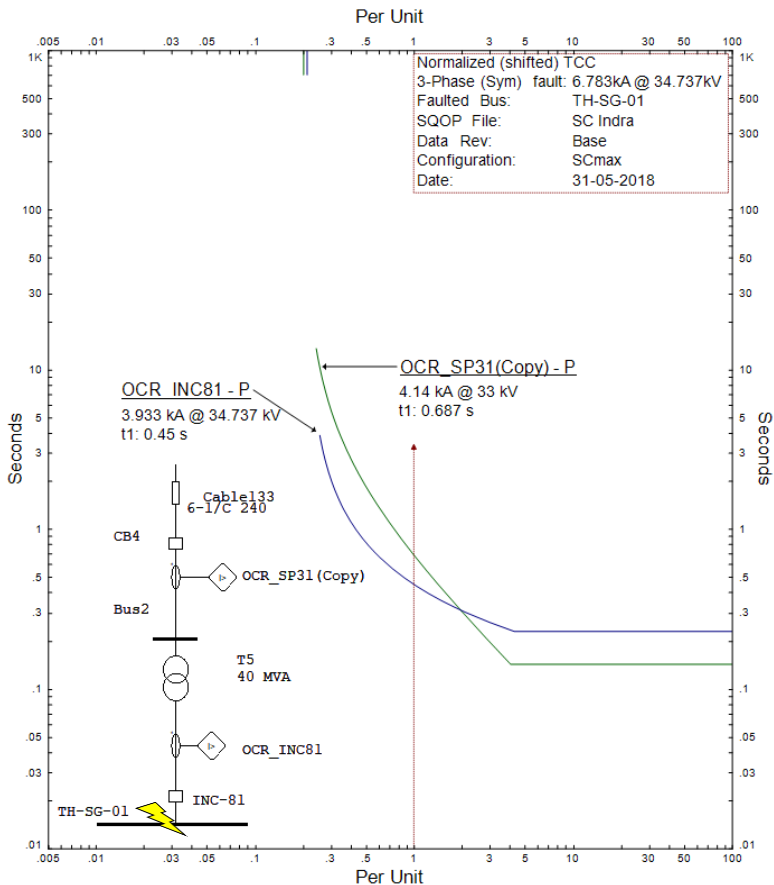


**Gambar 4. 25** Koordinasi Rele 1 dan Rele 2 Tipikal 1





**Gambar 4. 26** Koordinasi Rele 2 dan Rele 3 Tipikal 1



**Gambar 4. 27** Koordinasi Rele 3 dan Rele 4 Tipikal 1

Setelah semua gambar kurva TCC diplot pada *software* ETAP, dapat dilihat semua rele terkoordinasi dengan baik, tidak ada perpotongan kurva pada *range* 0~1,2 pu dan nilai CTI pada level tegangan yang sama lebih besar dari 0,2 detik.

#### 4.3.2 Perhitungan TDS dan Pemilihan Kurva Tipikal 2 dengan *Numerical computation*

Sama seperti pada perhitungan tipikal 1, program akan mencerna nilai masukkan *setting* rele pada tipikal 2 dengan algoritma yang sama. Sebelum memulai perhitungan dengan *numerical computation*, nama rele eksisting diubah untuk mempermudah penamaan pada program. Dengan perubahan OCR\_OUT2TH sebagai Rele 1, INC\_THTR01\_OCR sebagai Rele 2, dan OCR\_OUT81 sebagai Rele 3.

- OCR\_OUT2TH

Merek : Merlin Gerin  
ID Program : Rele 1  
Model : Sepam 1000  
Tegangan : 11 kV  
CT : 1250/5 A  
Tap CT : 0,3 ~ 2,4 dengan *step* 0,05  
*Output* : OUT-2 UBS 6  
*Range* TDS : 0,1 ~ 12,5 dengan *step* 0,1  
Pilihan Kurva : IEC Standard Inverse  
IEC Very Inverse  
IEC Ultra Inverse  
IEC Extremely Inverse.

- INC\_THTR01\_OCR

Merek : Merlin Gerin  
ID Program : Rele 2  
Model : Sepam 1000  
Tegangan : 11 kV  
CT : 2000/5 A  
Tap CT : 0,3 ~ 2,4 dengan *step* 0,05  
*Output* : INC\_TH11KV  
*Range* TDS : 0,1 ~ 12,5 dengan *step* 0,1  
Pilihan Kurva : IEC Standard Inverse  
IEC Very Inverse  
IEC Ultra Inverse  
IEC Extremely Inverse.

- OCR\_OUT81

Merek : Merlin Gerin

ID Program : Rele 3  
 Model : Sepam 1000  
 Tegangan : 33 kV  
 CT : 400/5 A  
 Tap CT : 0,3 ~ 2,4 dengan *step* 0,05  
 Output : OUT-81  
 Range TDS : 0,1 ~ 12,5 dengan *step* 0,1  
 Pilihan Kurva : IEC Standard Inverse  
                   IEC Very Inverse  
                   IEC Ultra Inverse  
                   IEC Extremely Inverse.

Untuk input pada program *numerical computation* tipikal 2, dapat dituliskan seperti pada tabel dibawah ini :

**Tabel 4. 30** Tabel Input Tipikal 2 *Numerical computation*

ID Rele	Isc Primer (A)	Isc Backup (A)	CT Primer Rele	FLA (A)	Level Tegangan Rele (kV)
Rele 1	6601	0	1250	314,9	11
Rele 2	5345	5345	2000	787,3	11
Rele 3	6016	1851	400	262,4	33

Dari data diatas, dapat dituliskan input data pada program *numerical computation* pada MATLAB seperti gambar dibawah ini :

```

Masukkan jumlah rele yang ingin disetting :3
Masukkan arus gangguan primer Rele 1 sampai Rele ke 3 (A) :[6601 5345 6016]
Masukkan arus gangguan sekunder Rele 1 sampai Rele ke 3 (A) :[0 5345 1851]
Masukkan level tegangan Rele 1 sampai Rele ke 3 (kV) :[11 11 33]
Masukkan nilai FLA Rele 1 sampai Rele ke 3 A :[314.9 787.3 262.4]
Masukkan nilai Primer CT Rele 1 sampai Rele ke 3 A :[1250 2000 400]
  
```

**Gambar 4. 28** Input Data Tipikal 2 *Numerical computation*

Untuk menentukan *setting* Rele 1, diperlukan waktu operasi awal rele yang diinginkan. Sesuai dengan data eksisting yang diperoleh, waktu operasi awal Rele 1 adalah 0,1 detik. Sehingga didapat sebaran waktu operasi tiap kurva sebagai berikut :

**Tabel 4. 31 Waktu Operasi Rele 1 Tipikal 2**

Rele 1	<i>Standard Inverse</i>	<i>Very Inverse</i>	<i>Ultra Inverse</i>	<i>Extremely Inverse</i>
Waktu Operasi (s)	0,1597	0,1084	0,1212	0,1282

Program akan otomatis memilih nilai operasi rele minimum yang terdapat pada kurva *Very Inverse* dengan waktu operasi 0,1084 detik. Sehingga nilai *setting* Rele 1 dapat ditunjukkan seperti gambar dibawah ini.

Masukkan waktu setting rele awal yang diinginkan : 0.1

(1). Merlin Gerin SEPAM 1000

(2). ABB SPAJ 140C

Pilih manufaktur rele yang digunakan :1

\*\*\*\*\*

Kurva Rele 1 = IEC Very Inverse

Nilai TDS Rele 1 yang harus disetting adalah : 0.2

Nilai Tap CT Rele 1 yang harus disetting adalah : 0.3

Waktu Kerja Rele 1 Sebagai Rele Primer : 0.10842 (s)

\*\*\*\*\*

**Gambar 4. 29 Setting Rele 1 Tipikal 2**

Untuk mendapatkan nilai *setting* Rele 2, terdeteksi level tegangan yang sama antara Rele 1 dan Rele 2 pada program. Sehingga diperlukan pengaturan nilai CTI sebesar 0,2 detik seperti pada acuan data eksisting tipikal 2. Sehingga didapatkan nilai sebaran waktu operasi tiap jenis kurva sebagai berikut :

**Tabel 4. 32 Waktu Operasi Rele 2 Tipikal 2**

Rele 2	<i>Standard Inverse</i>	<i>Very Inverse</i>	<i>Ultra Inverse</i>	<i>Extremely Inverse</i>
Waktu Operasi (s)	0,3899	0,3645	0,3708	0,5778

Sehingga program akan memilih kurva *Very Inverse* dengan waktu operasi 0,3645 detik. Nilai *setting* untuk Rele 2 dapat ditunjukkan sebagai berikut :

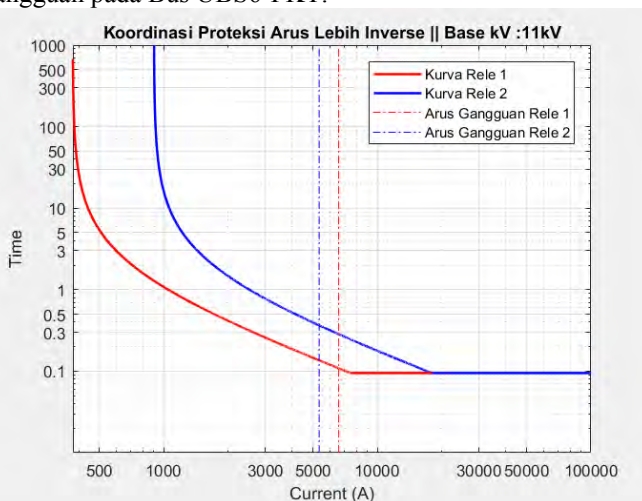
```

(1). Merlin Gerin SEPAM 1000
(2). ABB SPAJ 140C
Pilih manufaktur rele yang digunakan :1
Masukkan nilai CTI yang diinginkan : 0.2
*****
Kurva Rele 2 = IEC Very Inverse
Nilai TDS Rele 2 yang harus disetting adalah : 0.2
Nilai Tap CT Rele 2 yang harus disetting adalah : 0.45
Waktu Kerja Rele 2 adalah (s) :
Backup : 0.36445 detik          Primer : 0.36445 detik
*****

```

**Gambar 4. 30** Setting Rele 2 Tipikal 2

Setelah didapatkan nilai *setting* Rele 2, maka program akan otomatis membuat *plot* kurva koordinasi proteksi antara Rele 1 dan Rele 2 pada titik gangguan pada Bus UBS6-PKT.



**Gambar 4. 31** Kurva Koordinasi Rele 1 & Rele 2 Tipikal 2

Pada koordinasi Rele 2 dan Rele 3 dipisahkan oleh trafo sehingga terjadi *reset* waktu operasi rele. Dengan waktu minimal kerja Rele 3 adalah waktu kerja Rele 2, didapatkan sebaran waktu operasi masing-masing kurva sebagai berikut :

**Tabel 4. 33** Waktu Operasi Rele 2 Tipikal 2

Rele 3	<i>Standard Inverse</i>	<i>Very Inverse</i>	<i>Ultra Inverse</i>	<i>Extremely Inverse</i>
--------	-------------------------	---------------------	----------------------	--------------------------

Tabel 4. 34 Waktu Operasi Rele 2 Tipikal 2 (Lanjutan)

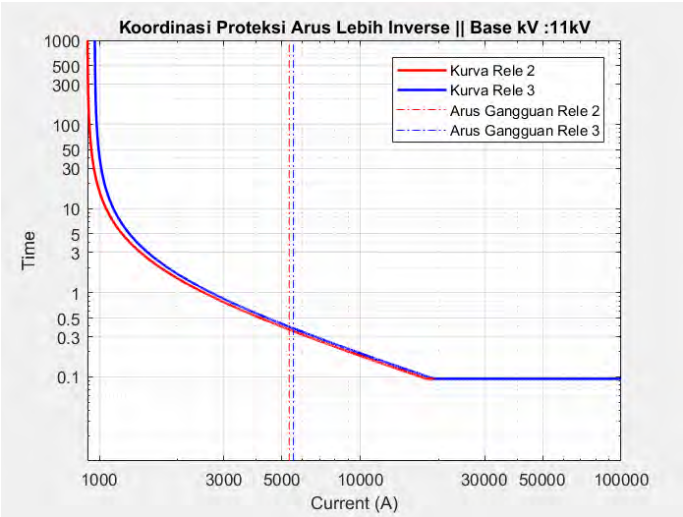
Waktu Operasi (s)	0,3958	0,3762	1,9818	1,2201
-------------------	--------	--------	--------	--------

Program *numerical computation* akan memilih waktu operasi minimal pada kurva *Very Inverse* dengan waktu operasi 0,3762 detik. Sehingga untuk *setting* Rele 3 dapat disajikan seperti gambar dibawah ini :

```
(1). Merlin Gerin SEPAM 1000
(2). ABB SPAJ 140C
Pilih manufaktur rele yang digunakan :1
=====
Kurva Rele 3 = IEC Very Inverse
Nilai TDS Rele 3 yang harus disetting adalah : 0.2
Nilai Tap CT Rele 3 yang harus disetting adalah : 0.8
Waktu Kerja Rele 3 adalah (s) :
Backup : 0.37622 detik          Primer : 0.10112 detik
=====
```

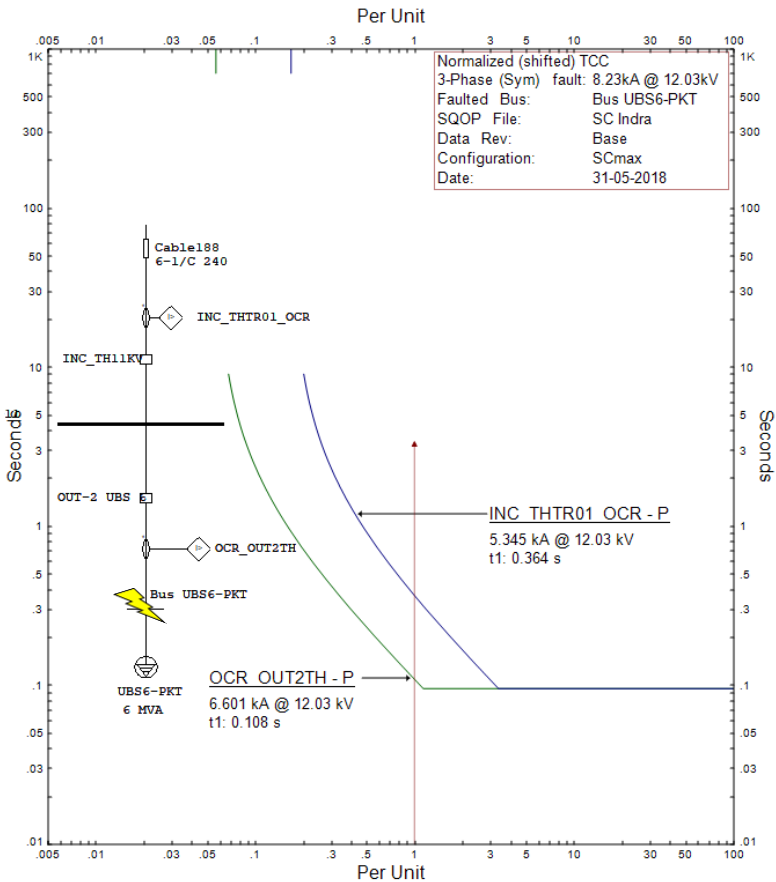
Gambar 4. 32 Setting Rele 3 Tipikal 2

Setelah didapat nilai *setting* Rele 3, maka program akan membuat *plot* kurva koordinasi antara Rele 2 dan Rele 3 pada titik gangguan TH-SG-11.



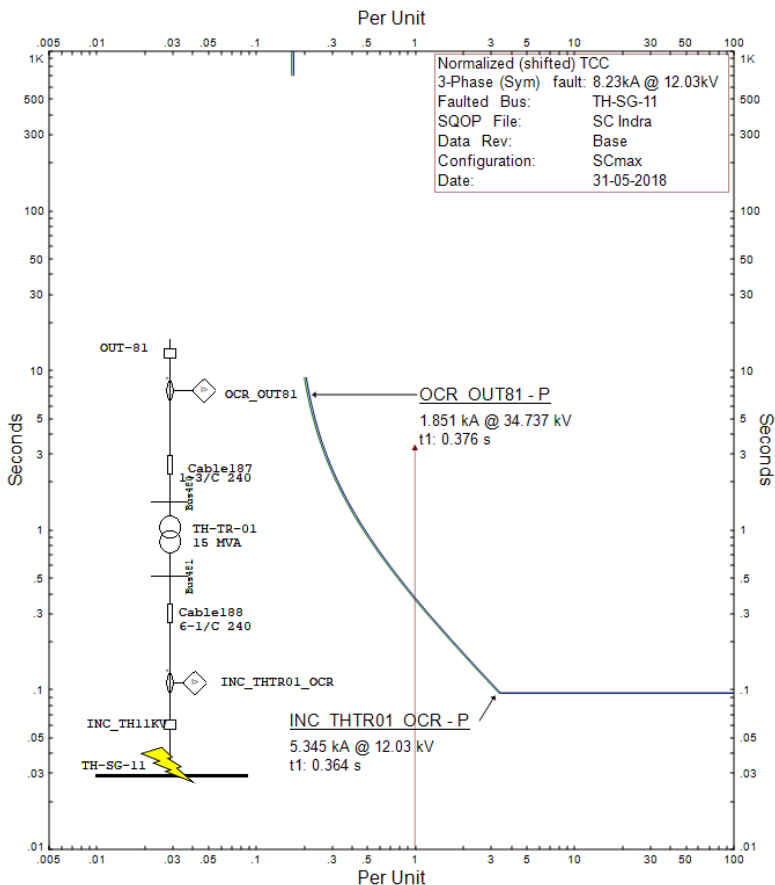
Gambar 4. 33 Kurva Koordinasi Rele 2 & Rele 3 Tipikal 2

Setelah semua nilai *setting* rele pada tipikal 2 didapat, langkah selanjutnya adalah melakukan plot kurva TCC pada *software* ETAP untuk melakukan validasi data waktu operasi rele yang didapat dari program *numerical computation*.



**Gambar 4. 34** Koordinasi Rele 1 dan Rele 2 Tipikal 2





**Gambar 4. 35** Koordinasi Rele 2 dan Rele 3 Tipikal 2

Setelah semua gambar kurva TCC diplot pada *software* ETAP, dapat dilihat semua rele terkoordinasi dengan baik, tidak ada perpotongan kurva pada *range* 0~1,2 pu dan nilai CTI pada level tegangan yang sama lebih besar dari 0,2 detik sedangkan ketika rele bekerja ditegangan yang berbeda dan dipisahkan oleh trafo terjadi *reset* waktu operasi.

#### 4.3.3 Perhitungan TDS dan Pemilihan Kurva Tipikal 3 dengan *Numerical computation*

Pada tipikal 3 perhitungan TDS dan pemilihan kurva koordinasi proteksi terdapat dua tipe manufaktur rele pada tipikalnya. Dimana data-data karakteristik tiap manufaktur rele sudah diotomasi oleh program *numerical computation* ketika pengguna memilih tipe rele yang diinginkan. Sama seperti pada tipikal sebelumnya, sebelum memulai perhitungan pada *numerical computation* nama rele eksisting diubah guna mempermudah penamaan pada program. Dengan perubahan nama OCR\_INC82 menjadi Rele 1, OCR\_INCTI03SG101 menjadi Rele 2, dan OCR\_INCG03SG101 menjadi Rele 3. Adapun data yang diperlukan untuk memulai perhitungan dengan *numerical computation* disajikan pada tabel dibawah ini :

- OCR\_INC82

Merek	: Merlin Gerin
ID Program	: Rele 1
Model	: Sepam 1000
Tegangan	: 33 kV
CT	: 800/5 A
Tap CT	: 0,3 ~ 2,4 dengan <i>step</i> 0,05
<i>Output</i>	: INC-82
<i>Range</i> TDS	: 0,1 ~ 12,5 dengan <i>step</i> 0,1
Pilihan Kurva	: IEC Standard Inverse IEC Very Inverse IEC Ultra Inverse IEC Extremely Inverse.

- OCR\_INCTI03SG101

Merek	: ABB
ID Program	: Rele 2
Model	: SPAJ 140C
Tegangan	: 11 kV
CT	: 2000/5 A
Tap CT	: 0,5 ~ 2,5 dengan <i>step</i> 0,01
<i>Output</i>	: INCTI_03SG101
<i>Range</i> TDS	: 0,05 ~ 1 dengan <i>step</i> 0,01
Pilihan Kurva	: IEC Standard Inverse

IEC Very Inverse  
 IEC Long Time Inverse  
 IEC Extremely Inverse.

- OCR\_INCG03SG101  
 Merek : Merlin Gerin  
 ID Program : Rele 3  
 Model : Sepam 1000  
 Tegangan : 11 kV  
 CT : 400/5 A  
 Tap CT : 0,3 ~ 2,4 dengan *step* 0,05  
*Output* : INCG\_03SG101  
*Range* TDS : 0,1 ~ 12,5 dengan *step* 0,1  
 Pilihan Kurva : IEC Standard Inverse  
                   IEC Very Inverse  
                   IEC Ultra Inverse  
                   IEC Extremely Inverse.

**Tabel 4. 35** Tabel Input Tipikal 2 *Numerical computation*

ID Rele	Isc Primer (A)	Isc Backup (A)	CT Primer Rele	FLA (A)	Level Tegangan Rele (kV)
Rele 1	2090	0	800	659,6	33
Rele 2	11439	6271	2000	1979	11
Rele 3	10303	10252	2500	1968	11

Dari data diatas, dapat dituliskan input data pada program *numerical computation* pada MATLAB seperti gambar dibawah ini :

```
Masukkan jumlah rele yang ingin disetting :3
Masukkan arus gangguan primer Rele 1 sampai Rele ke 3 (A) :[2090 11439 10303]
Masukkan arus gangguan sekunder Rele 1 sampai Rele ke 3 (A) :[0 6271 10252]
Masukkan level tegangan Rele 1 sampai Rele ke 3 (kV) :[33 11 11]
Masukkan nilai FLA Rele 1 sampai Rele ke 3 A :[659.6 1979 1968]
Masukkan nilai Primer CT Rele 1 sampai Rele ke 3 A :[800 2000 2500]
```

**Gambar 4. 36** Input Data Tipikal 3 *Numerical computation*

Untuk menentukan *setting* Rele 1, diperlukan waktu operasi awal rele yang diinginkan. Sesuai dengan data eksisting yang diperoleh, waktu

operasi awal Rele 1 adalah 0,3 detik. Sehingga didapat sebaran waktu operasi tiap kurva sebagai berikut :

**Tabel 4. 36 Waktu Operasi Rele 1 Tipikal 3**

<b>Rele 1</b>	<b><i>Standard Inverse</i></b>	<b><i>Very Inverse</i></b>	<b><i>Ultra Inverse</i></b>	<b><i>Extremely Inverse</i></b>
<b>Waktu Operasi (s)</b>	0,2431	0,5581	3,1401	1,6997

Program akan otomatis memilih nilai operasi rele minimum yang terdapat pada kurva *Standard Inverse* dengan waktu operasi 0,2431 detik. Sehingga nilai *setting* Rele 1 dapat ditunjukkan seperti gambar dibawah ini.

```
Masukkan waktu setting rele awal yang diinginkan : 0.2
(1). Merlin Gerin SEPAM 1000
(2). ABB SPAJ 140C
Pilih manufaktur rele yang digunakan :1
*****
Kurva Rele 1 = IEC Standard Inverse
Nilai TDS Rele 1 yang harus disetting adalah : 0.1
Nilai Tap CT Rele 1 yang harus disetting adalah : 1
Waktu Kerja Rele 1 Sebagai Rele Primer : 0.24308 (s)
*****
```

**Gambar 4. 37 Setting Rele 1 Tipikal 3**

Setelah didapatkan nilai *setting* Rele 1, maka untuk mendapatkan nilai *setting* Rele 2 yang melewati trafo beda tegangan sehingga waktu operasi minimum akan *reset* menjadi waktu operasi Rele 1. Pada Rele 2 menggunakan rele manufaktur ABB SPAJ 140C yang dapat dipilih pada program *numerical computation*. Didapatkan persebaran waktu operasi dari keempat tipe kurva sebagai berikut :

**Tabel 4. 37 Waktu Operasi Rele 2 Tipikal 3**

<b>Rele 2</b>	<b><i>Standard Inverse</i></b>	<b><i>Very Inverse</i></b>	<b><i>Long Time Inverse</i></b>	<b><i>Extremely Inverse</i></b>
<b>Waktu Operasi (s)</b>	0,3578	0,4129	3,67	0,6731

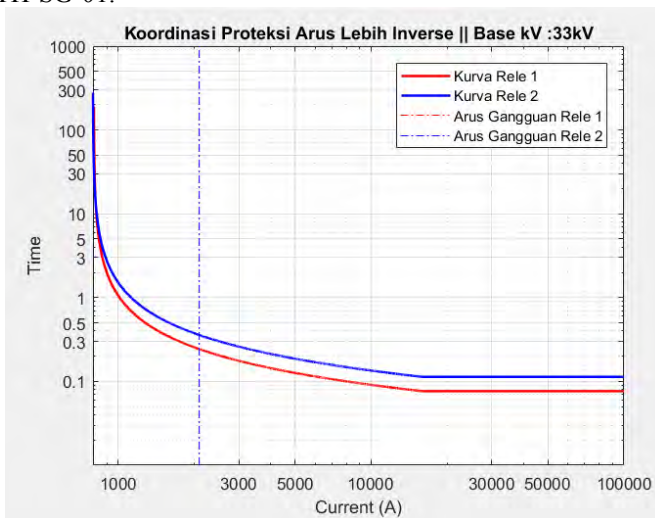
Sehingga program *numerical computation* akan secara otomatis memilih nilai minimum Rele 2 dengan kurva *Standard Inverse* dan waktu operasi

0,3578 detik. Nilai *setting* Rele 2 yang didapat menggunakan *numerical computation* dapat disajikan seperti gambar dibawah ini :

```
(1). Merlin Gerin SEPAM 1000
(2). ABB SPAJ 140C
Pilih manufaktur rele yang digunakan :2
Masukkan nilai CTI yang diinginkan : 0
=====
Kurva Rele 2 = IEC Standard Inverse
Nilai TDS Rele 2 yang harus disetting adalah : 0.05
Nilai Tap CT Rele 2 yang harus disetting adalah : 1.19
Waktu Kerja Rele 2 adalah (s) :
Backup : 0.35777 detik      Primer : 0.21946 detik
=====
```

**Gambar 4. 38** *Setting* Rele 2 Tipikal 3

Setelah didapat nilai *setting* Rele 2, maka program akan membuat *plot* kurva koordinasi antara Rele 1 dan Rele 2 dengan titik gangguan pada Bus TH-SG-01.



**Gambar 4. 39** Kurva Koordinasi Rele 1 & Rele 2 Tipikal 3

Untuk *setting* terakhir pada tipikal 3 ini merupakan Rele 3, tetapi sebelum memulai proses perhitungan program *numerical computation* akan meminta nilai CTI dikarenakan level tegangan yang sama antara Rele 2 dan Rele 3. Berdasarkan acuan data eksisting sistem koordinasi Tanjung Harapan Island dimana Rele 3 harus bekerja pada waktu 0,5 detik.

Dimasukkan nilai CTI sebesar 0.28 detik. Didapatkan sebaran waktu operasi masing-masing tipe kurva seperti dibawah ini :

**Tabel 4. 38 Waktu Operasi Rele 3 Tipikal 3**

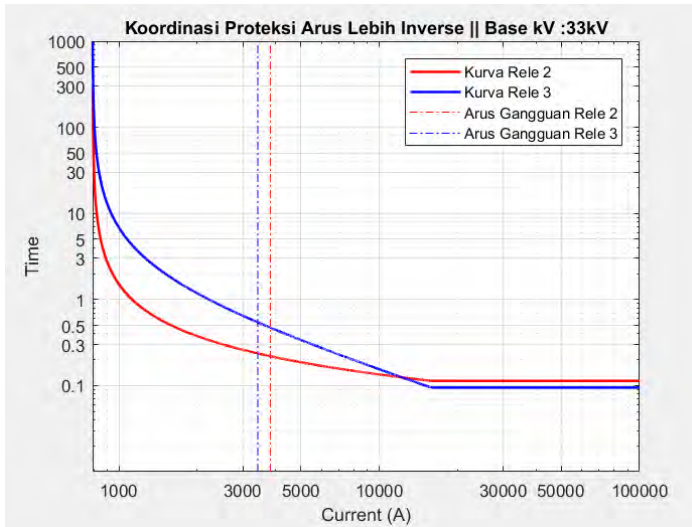
Rele 3	<i>Standard Inverse</i>	<i>Very Inverse</i>	<i>Ultra Inverse</i>	<i>Extremely Inverse</i>
<b>Waktu Operasi (s)</b>	0,6353	0,5427	0,8352	0,5615

Program *numerical computation* secara otomatis akan memilih kurva *Very Inverse* dengan waktu operasi 0,5427 detik karena nilai tersebut merupakan waktu tercepat rele beroperasi jika dibandingkan dengan jenis kurva lainnya. Nilai *setting* Rele 3 yang didapat pada program *numerical computation* adalah sebagai berikut :

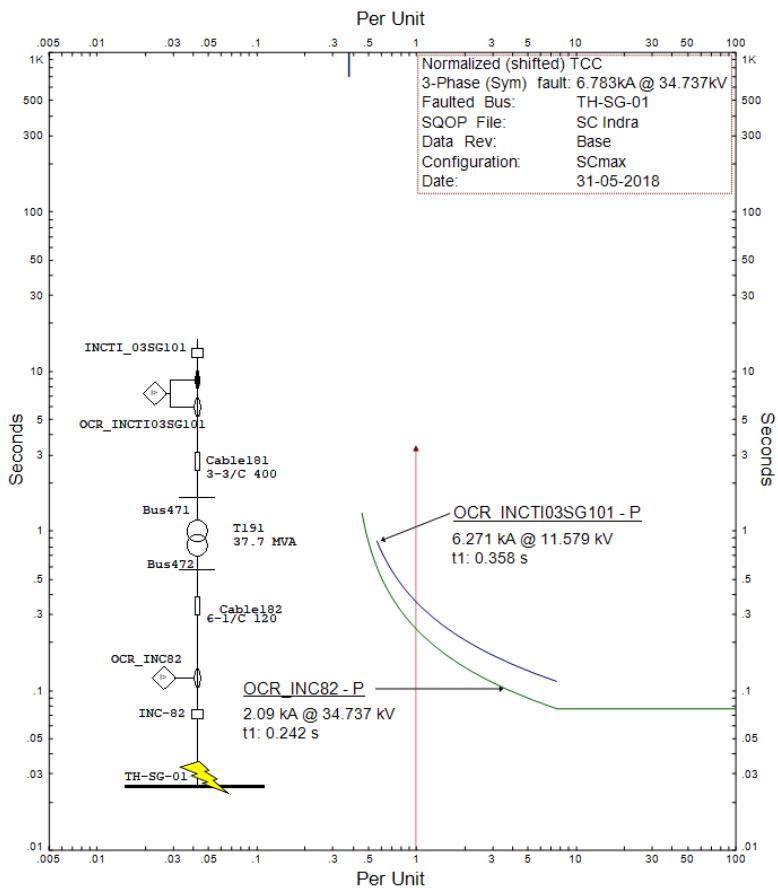
```
(1). Merlin Gerin SEPAM 1000
(2). ABB SPAJ 140C
Pilih manufaktur rele yang digunakan :1
Masukkan nilai CTI yang diinginkan : 0.28
=====
Kurva Rele 3 = IEC Very Inverse
Nilai TDS Rele 3 yang harus disetting adalah : 0.2
Nilai Tap CT Rele 3 yang harus disetting adalah : 0.95
Waktu Kerja Rele 3 adalah (s) :
Backup : 0.54272 detik      Primer : 0.53923 detik
=====
```

**Gambar 4. 40 Setting Rele 3 Tipikal 3**

Pada akhir program, dimana semua nilai *setting* rele telah didapatkan. Program akan mulai membuat *plot* kurva koordinasi antara Rele 2 dan Rele 3 pada titik gangguan pada Bus471.

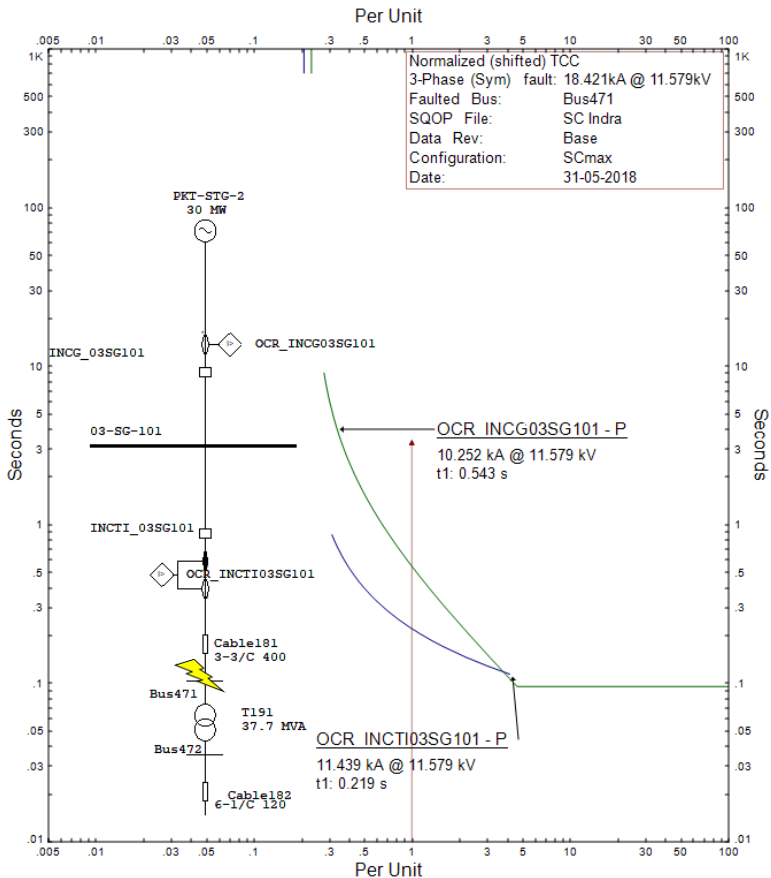


**Gambar 4. 41** Kurva Koordinasi Rele 2 & Rele 3 Tipikal 3  
Setelah didapat semua nilai *setting* rele pada tipikal 3, maka langkah selanjutnya adalah membuat plot kurva TCC pada *software* ETAP 12.6.0 sebagai validasi waktu kerja rele.



**Gambar 4. 42** Koordinasi Rele 1 dan Rele 2 Tipikal 3





**Gambar 4. 43** Koordinasi Rele 2 dan Rele 3 Tipikal 3

Setelah dilakukan evaluasi waktu operasi rele pada tipikal 3, dapat dilihat nilai perhitungan *numerical computation* menunjukkan hasil yang sama, dan juga nilai CTI rele yang memiliki tegangan sama lebih besar dari 0,2 detik. Pada tipikal ini juga dibuktikan bahwa program *numerical computation* mampu mengkomputasi otomatisasi koordinasi proteksi antar rele yang berbeda manufaktur.

#### 4.4 Analisis Hasil Perhitungan *Numerical computation* dengan Perhitungan Sistem Kelistrikan Eksisting

Setelah pada sub-bab sebelumnya didapat hasil *setting* rele proteksi Tanjung Harapan *Island* eksisting dan juga perhitungan menggunakan *numerical computation*. Maka dapat dianalisis dan dibandingkan hasil kedua *setting* proteksi pada *plant* yang diuji. Untuk hasil evaluasi yang valid, kedua *setting* rele proteksi diuji menggunakan *software* ETAP 12.6.0. Untuk waktu operasi rele dibulatkan menjadi tiga angka dibelakang koma. Dimana hasil kedua metode dapat dihimpun pada tabel dibawah ini :

**Tabel 4. 39** Perbandingan Hasil Waktu Operasi Tipikal 1

Lokasi Gangguan	Rele Operasi		<i>Numerical computation</i>	Eksisting	Arus (kA)
Bus SG-CBP	OCR_INCCB <sub>P</sub>	$t_{top}$ Primer (s)	0,132	0,100	9,234
	OCR_OUT82	$t_{top}$ Backup (s)	0,261	0,351	2,006
	$\Delta T$ (CTI) (s)		0,129	0,251	
Bus478	OCR_OUT82	$t_{top}$ Primer (s)	0,153	0,100	6,775
	OCR_INC81	$t_{top}$ Backup (s)	0,451	0,500	3,928
	$\Delta T$ (CTI) (s)		0,298	0,400	
Bus TH-SG-01	OCR_INC81	$t_{top}$ Primer (s)	0,451	0,500	3,933
	OCR_SP31	$t_{top}$ Backup (s)	0,687	2,045	4,140
	$\Delta T$ (CTI) (s)		0,236	1,545	
Bus2	OCR_SP31	$t_{top}$ Primer (s)	0,165	0,1	14,585

Pada *setting numerical computation* Rele 1, waktu CTI kurang dari 0,2 detik dikarenakan adanya trafo yang membatasi Rele 1 dan Rele 2. Sehingga nilai CTI tidak diperhitungkan dan waktu kerja Rele 2 sebagai *backup* harus lebih besar sama dengan Rele 1. Hal ini dilakukan karena pada Rele 1 dan Rele 2 hanya terdapat satu beban dalam satu jaringan,

sehingga nilai *time-grading* tidak diperlukan. Untuk waktu operasi rele lainnya sudah mendekati nilai *setting* rele eksisting. Waktu operasi Rele 4 sebagai *backup* Rele 3 pada *setting* eksisting adalah 2,045 detik, hal ini dirasa terlalu lama dan akan merusak sistem jika dibiarkan. Menggunakan program *numerical computation* didapatkan hasil waktu operasi Rele 4 sebagai *backup* Rele 3 0,687 detik. Dimana hal ini lebih memungkinkan rele berkoordinasi dengan baik ketika terjadi gangguan pada area Rele 3.

**Tabel 4. 40** Perbandingan Hasil Waktu Operasi Tipikal 2

Lokasi Gangguan	Rele Operasi		<i>Numerical computation</i>	Eksisting	Arus (kA)
Bus UBS6-PKT	OCR_OUT2T H	$t_{op}$ Primer (s)	0,108	0,100	6,601
	INC_THTR01 _OCR	$t_{op}$ Backup (s)	0,365	0,300	5,345
	$\Delta T$ (CTI) (s)		0,256	0,200	
Bus TH-SG-11	INC_THTR01 _OCR	$t_{op}$ Primer (s)	0,364	0,300	5,345
	OCR_OUT81	$t_{op}$ Backup (s)	0,376	0,366	1,851
	$\Delta T$ (CTI) (s)		0,012	0,066	
Bus480	OCR_OUT81	$t_{op}$ Primer (s)	0,101	0,100	6,016

Pada analisis perbandingan tipikal 2 dapat dilihat waktu operasi rele dengan *numerical computation* hampir sama dengan kondisi eksisting. Nilai CTI pada Rele 1 lebih besar disebabkan karena pada perhitungan tugas akhir menggunakan *numerical computation* hanya menggunakan rele arus lebih waktu *inverse* (ANSI 51) sementara pada kondisi eksisting rele menggabungkan waktu *inverse* dan rele *instantaneous* (ANSI 50).

**Tabel 4. 41** Perbandingan Hasil Waktu Operasi Tipikal 3

Lokasi Gangguan	Rele Operasi		<i>Numerical computation</i>	Eksisting	Arus (kA)
Bus TH-SG-01	OCR_INC82	$t_{op}$ Primer (s)	0,243	0,300	2,090
	OCR_INCTI0 3SG101	$t_{op}$ Backup (s)	0,357	0,300	6,271

**Tabel 4. 42** Perbandingan Hasil Waktu Operasi Tipikal 3 (Lanjutan)

	$\Delta T$ (CTI) (s)		0,114	0	
Bus471	OCR_INCTI0 3SG101	<sup>t</sup> <sub>top</sub> Primer (s)	0,219	0,300	11,439
	OCR_INCG0 3SG101	<sup>t</sup> <sub>top</sub> Backup (s)	0,543	0,500	10,252
	$\Delta T$ (CTI) (s)		0,324	0,200	
Bus 03-SG- 101	OCR_INCG0 3SG101	<sup>t</sup> <sub>top</sub> Primer (s)	0,539	0,500	10,303

Pada tipikal 3, waktu operasi rele mendekati nilai *setting* eksisting pada semua rele. Tetapi pada Rele 1 terdapat perbedaan nilai CTI antara kondisi *eksisting* dan perhitungan *numerical computation*. Hal ini dikarenakan pada penggunaan Rele 1 dan Rele 2 kondisi *eksisting* menggunakan rele *instantaneous* (ANSI 50) sehingga rele dapat beroperasi pada waktu yang sama ketika terjadi gangguan. Sementara pada tugas akhir ini hanya dilakukan otomatisasi *setting* pada rele *inverse* (ANSI 51).

## BAB 5 KESIMPULAN

### 5.1 Kesimpulan

Setelah dilakukan penelitian pada tugas akhir mengenai otomatisasi *setting* rele arus lebih tipe *inverse* pada sistem radial PT Pupuk Kalimantan ini, dapat disimpulkan beberapa hal :

1. Waktu operasi rele dengan menggunakan kombinasi rele *inverse* dan rele *instantaneous* akan menghasilkan hasil yang lebih baik pada koordinasi sistem proteksi.
2. Program *numerical computation* dapat mengerjakan perhitungan nilai TDS, Tap CT, dan pemilihan kurva secara sekaligus dan mendapatkan hasil yang memuaskan. Dimana hal ini dapat menjadi poin penting guna mempermudah proses pengerjaan *setting* rele arus lebih pada PT Pupuk Kalimantan Timur.
3. Program *numerical computation* memiliki banyak kelebihan, diantara mampu menentukan *setting* waktu operasi minimal pada rele sesuai dengan karakteristik rele dan kemampuan kerja rele. Selain itu dengan program ini mampu memperhitungkan nilai CTI sesuai keinginan pengguna ataupun berdasarkan standar yang ada.
4. Pada tipikal 1, program *numerical computation* dapat mengoreksi waktu kerja Rele 4 (OCR\_SP31) sebagai rele *backup* Rele 3 yang awalnya 2,045 detik menjadi 0,687 detik dan mengurangi waktu CTI dari 1,545 detik menjadi 0,236 detik. Hal ini sangat penting mengingat ketika adanya arus gangguan yang dibiarkan dalam waktu yang lama dapat merusak peralatan yang ada.

### 5.2 Saran

Setelah dilakukan evaluasi dan penelitian pada tugas akhir ini, masih ada beberapa hal yang perlu dibenahi. Saran untuk penelitian dan pengembangan selanjutnya dengan topik yang serupa adalah :

1. Diperlukan adanya pengembangan terhadap *inequality constraint* yang baru, yaitu berupa evaluasi perpotongan kurva, *starting motor*, *damage curve transformer* dan beban lainnya.

2. Menggabungkan perhitungan rele *instantaneous* (ANSI 50) guna mengoptimalkan waktu operasi rele dan memperbaiki keandalan rele dalam *sensing* arus gangguan.
3. Menambah pilihan manufaktur rele pada program, sehingga program dapat dioperasikan untuk tipe rele yang lebih beragam.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] I. o. E. a. E. Engineers, "IEEE Standard 242," in *Protection and Coordination of Industrial and Comercial Power System*, ed, 2001.
- [2] S. Electric. (2005, Cahier Technique No. 158. *Calculation of Short Circuit Currents*.
- [3] P. M. Anderson, *Power System Protection*. Pistacaway, NJ: IEEE Press, 1999.
- [4] M. A. F. Jauhari, "Koordinasi Proteksi Arus Lebih Adaptif Pada Sistem Distribusi Ring dengan Pembangkit Tersebar Menggunakan Artificial Neural Network," Tugas Akhir, Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2017.
- [5] V. R. Mahindra, "Optimasi Time Dial Setting (TDS) Relay Arus Lebih Menggunakan Adaptive Modified Firefly Algorithm Pada Sistem Kelistrikan PT. Pupuk Kalimantan Timur," Tugas Akhir, Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2016.
- [6] I. o. E. a. E. Engineers, "IEEE Standard C37.112," in *Standard Inverse-Time Characteristic Equations for Overcurrent Relays*, ed, 1996.
- [7] G. Schneider, "Schneider Merlin Gerin SEPAM 1000 Protection and Control," S. Electric, Ed., ed, 2012.
- [8] ABB, "SPAJ 140 C Overcurrent and Earth-Fault Relay," in *User's Manual and Technical Description*, ed, 2007.
- [9] ABB, "REF 542Plus Technical Reference Manual," in *Multifunction Protection and Switchbay Control Unit*, ed, 2002.
- [10] W. Bober and A. Stevens, *Numerical and Analytical Methods with MATLAB for Electrical Engineers*. London: CRC Press, 2013.
- [11] V. A. Papaspiliotopoulos, T. A. Kurashvili, and G. N. Korres, "Optimal Coordination f Directional Overcurrent Relays In Distribution Systems With Distributed Generation Based On A Hybrid PSO-LP Algorithm," in *MedPower 2014*, Athens, Greece, 2014.
- [12] A. Tjahjono, D. Okky Anggriawan, A. Kusnal Faizin, A. Priyadi, M. Pujiantara, and M. Hery Purnomo, "Optimal Coordination of Overcurrent Relays in Radial System with Distributed Generation Using Modified Firefly Algorithm," *International*

*Journal on Electrical Engineering and Informatics*, vol. 7, pp. 691-710, 2015.



## LAMPIRAN

```
clc,clear all,close all;

%% Created by Aditya Indrasaputra - 07111440000196
% Teknik Elektro - Fakultas Teknik Elektro
% Institut Teknologi Sepuluh Nopember
% Copyright 2018
%% Input Proteksi Menggunakan Numerical Computation
% Pada Rele Merlin Gerin SEPAM 1000 & ABB SPAJ 140C (Pilihan
Relay dan Setting
% disesuaikan)
%% Input Data
clearvars;
jumlahrele = input('Masukkan jumlah rele yang ingin
disetting :');
iscprim = input(['Masukkan arus gangguan primer Rele 1
sampai Rele ke ' num2str(jumlahrele) ' (A) :']);
iscsek = input(['Masukkan arus gangguan sekunder Rele 1
sampai Rele ke ' num2str(jumlahrele) ' (A) :']);
kv = input(['Masukkan level tegangan Rele 1 sampai Rele ke '
num2str(jumlahrele) ' (kV) :']);
fla = input(['Masukkan nilai FLA Rele 1 sampai Rele ke '
num2str(jumlahrele) ' A :']);
ct = input(['Masukkan nilai Primer CT Rele 1 sampai Rele ke
' num2str(jumlahrele) ' A :']);
iset = input('Masukkan waktu setting rele awal yang
diinginkan : ');
I=1:1:20000;
%% Perhitungan Rele 1
for i=1:length(jumlahrele)
i=1;
while i == 1
% Pemilihan Jenis Manufaktur Relay
disp('(1). Merlin Gerin SEPAM 1000');
disp('(2). ABB SPAJ 140C');
kurval=input('Pilih manufaktur rele yang digunakan :');
if kurval == 1
a1=0.02;b1=2.97;k1=0.14;
a2=1;b2=1.5;k2=13.5;
a3=2.5;b3=1;k3=315;
a4=2;b4=0.808;k4=80;
TDS=0.1:0.1:12.5; %Range TDS dari 0.1 ~ 12.5, dengan
step 0.1
ctip(1,i) = (1.2*fla(1,i))/ct(1,i);
ctrele(1,i)= round(ctip(1,i)*20)/20;
ip(1,i)=ct(1,i)*ctrele(1,i);
else if kurval == 2
```

```

a1=0.02;b1=1;k1=0.14;
a2=1;b2=1;k2=13.5;
a3=2.5;b3=1;k3=120;
a4=2;b4=1;k4=80;
TDS=0.05:0.01:1; %Range TDS dari 0.05 ~ 1, dengan step
0.01
ctip(1,i) = (1.2*f1a(1,i))/ct(1,i);
ctrele(1,i)= round(ctip(1,i)*100)/100;
ip(1,i)=ct(1,i)*ctrele(1,i);
end
end
%% Kurva IEC Standard Inverse
a=1; % Nomor Rele
b=1; % Nomor Tipe Kurva
if iscprim(1,i) >= 20*ip(1,i)
z(b) = 20*ip(1,i)/ip(1,1);
x(b) = z(b).^a1;
c(b) = x(b)-1;
v(b) = c(b)*b1;
tdrele1 = (k1*TDS)/v(b);
else
z(b) = iscprim(1,1)/ip(1,1);
x(b) = z(b).^a1;
c(b) = x(b)-1;
v(b) = c(b)*b1;
tdrele1 = (k1*TDS)/v(b);
end
% Mencari Nilai Terdekat Dari Iset
td11 = (tdrele1-iset);
mintd(a,b) = min(td11(td11>0)); %Mencari Error Terkecil
nilaimintd(a,b) = (iset+mintd(a,b)); %Mencari Waktu Operasi
Rele
if kurval == 1
TDSrele1(b) = round(((nilaimintd(a,b)*v(b))/(k1)),1);
else if kurval == 2
TDSrele1(b) = round(((nilaimintd(a,b)*v(b))/(k1)),2);
end
end
%% Kurva IEC Very Inverse
b=b+1; % Nomor Tipe Kurva
if iscprim(1,i) >= 20*ip(1,i)
z(b) = 20*ip(1,i)/ip(1,i);
x(b) = z(b).^a2;
c(b) = x(b)-1;
v(b) = c(b)*b2;
tdrele1 = (k2*TDS)/v(b);
else
z(b) = iscprim(1,i)/ip(1,i);
x(b) = z(b).^a2;
c(b) = x(b)-1;

```

```

v(b) = c(b)*b2;
tdrelel = (k2*TDS)/v(b);
end

% Mencari Nilai Terdekat Dari Iset
td11 = (tdrelel-iset);
mintd(a,b) = min(td11(td11>0)); %Mencari Error Terkecil
nilaimintd(a,b) = (iset+mintd(a,b)); %Mencari Waktu Operasi
Rele
if kurval == 1
TDSrelel(b) = round(((nilaimintd(a,b)*v(b))/(k2)),1);
else if kurval == 2
TDSrelel(b) = round(((nilaimintd(a,b)*v(b))/(k2)),2);
end
end
%% Kurva IEC Ultra Inverse (MG Sepam100) / Long Time Inverse
(ABB)
b=b+1; % Nomor Tipe Kurva
if iscprim(1,i) >= 20*ip(1,i)
z(b) = 20*ip(1,i)/ip(1,i);
x(b) = z(b).^a3;
c(b) = x(b)-1;
v(b) = c(b)*b3;
tdrelel = (k3*TDS)/v(b);
else
z(b) = iscprim(1,i)/ip(1,i);
x(b) = z(b).^a3;
c(b) = x(b)-1;
v(b) = c(b)*b3;
tdrelel = (k3*TDS)/v(b);
end
end
% Mencari Nilai Terdekat Dari Iset
td11 = (tdrelel-iset);
mintd(a,b) = min(td11(td11>0)); %Mencari Error Terkecil
nilaimintd(a,b) = (iset+mintd(a,b)); %Mencari Waktu Operasi
Rele
if kurval == 1
TDSrelel(b) = round(((nilaimintd(a,b)*v(b))/(k3)),1);
else if kurval == 2
TDSrelel(b) = round(((nilaimintd(a,b)*v(b))/(k3)),2);
end
end
end
%% Kurva IEC Extremely Inverse
b=b+1; % Nomor Tipe Kurva
if iscprim(1,i) >= 20*ip(1,i)
z(b) = 20*ip(1,i)/ip(1,i);
x(b) = z(b).^a4;
c(b) = x(b)-1;
v(b) = c(b)*b4;
tdrelel = (k4*TDS)/v(b);

```

```

else
z(b) = iscprim(1,i)/ip(1,i);
x(b) = z(b).^a4;
c(b) = x(b)-1;
v(b) = c(b)*b4;
tdrele1 = (k4*TDS)/v(b);
end
% Mencari Nilai Terdekat Dari 0.1
td11 = (tdrele1-iset);
mintd(a,b) = min(td11(td11>0)); %Mencari Error Terkecil
nilaimintd(a,b) = (iset+mintd(a,b)); %Mencari Waktu Operasi
Rele
if kurval == 1
TDSrele1(b) = round(((nilaimintd(a,b)*v(b))/(k4)),1);
else if kurval == 2
TDSrele1(b) = round(((nilaimintd(a,b)*v(b))/(k4)),2);
end
end
%% Mencari Nilai Setting Rele Pertama
ipb(1)=ip(1,i);
In{i}=ip(1,i):1:20*ip(1,i);
% Mencari Nilai Minimum Rele 1
mintdrele(a) = min(nilaimintd(a,:));
disp('%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%');
if mintdrele(a) == nilaimintd(a,1)
TDSminrele1 = TDSrele1(1,1);
disp('Kurva Rele 1 = IEC Standard Inverse');
realgraf{i} = (k1*TDSminrele1)./((((In{i}/ip(1,a)).^a1)-
1)*b1);
satgraf(i) =
(k1*TDSminrele1)./((((20*ip(1,a)/((ip(1,a))*(kv(1,i)/kv(1,1)
))).^a1)-1)*b1);
else if mintdrele(a) == nilaimintd(a,2)
TDSminrele1 = TDSrele1(1,2);
disp('Kurva Rele 1 = IEC Very Inverse');
realgraf{i} = (k2*TDSminrele1)./((((In{i}/ip(1,a)).^a2)-
1)*b2);
satgraf(i) =
(k2*TDSminrele1)./((((20*ip(1,a)/((ip(1,a))*(kv(1,i)/kv(1,1)
))).^a2)-1)*b2);
else if mintdrele(a) == nilaimintd(a,3)
TDSminrele1 = TDSrele1(1,3);
disp('Kurva Rele 1 = IEC Ultra Inverse/Long Time Inverse');
realgraf{i} = (k3*TDSminrele1)./((((In{i}/ip(1,a)).^a3)-
1)*b3);
satgraf(i) =
(k3*TDSminrele1)./((((20*ip(1,a)/((ip(1,a))*(kv(1,i)/kv(1,1)
))).^a3)-1)*b3);
else if mintdrele(a) == nilaimintd(a,4)
TDSminrele1 = TDSrele1(1,4);

```

```

disp('Kurva Rele 1 = IEC Extremely Inverse');
realgraf{i} = (k4*TDSminrele1)/((((In{i}/ip(1,a)).^a4)-
1)*b4);
satgraf(i) =
(k4*TDSminrele1)/((((20*ip(1,a)/((ip(1,a))*(kv(1,i)/kv(1,1)
))).^a4)-1)*b4);
    end
    end
    end
end
tfaultN(a) = mintdrele(a);
disp(['Nilai TDS Rele 1 yang harus disetting adalah : '
num2str(TDSminrele1) ]);
disp(['Nilai Tap CT Rele 1 yang harus disetting adalah : '
num2str(ctrele(1,i)) ]);
disp(['Waktu Kerja Rele 1 Sebagai Rele Primer : '
num2str(mintdrele(a)) ' (s)']);
disp('%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%');
% Inisiasi Kurva Rele 1
i=i+1;
end
%% Perhitungan Rele 2 sampai ke N
while i <= jumlahrele
disp('(1). Merlin Gerin SEPAM 1000');
disp('(2). ABB SPAJ 140C');
kurvaN=input('Pilih manufaktur rele yang digunakan : ');
if kurvaN == 1
    aN1=0.02;bN1=2.97;kN1=0.14;
    aN2=1;bN2=1.5;kN2=13.5;
    aN3=2.5;bN3=1;kN3=315;
    aN4=2;bN4=0.808;kN4=80;
    TDS=0.1:0.1:12.5; %Range TDS dari 0.1 ~ 12.5, dengan
step 0.1
    ctip(1,i) = (1.2*f1a(1,i))/ct(1,i);
    ctrele(1,i)= round(ctip(1,i)*20)/20;
    ip(1,i)=ct(1,i)*ctrele(1,i);
else if kurvaN == 2
    aN1=0.02;bN1=1;kN1=0.14;
    aN2=1;bN2=1;kN2=13.5;
    aN3=1;bN3=1;kN3=120;
    aN4=2;bN4=1;kN4=80;
    TDS=0.05:0.01:1; %Range TDS dari 0.05 ~ 1, dengan step
0.01
    ctip(1,i) = (1.2*f1a(1,i))/ct(1,i);
    ctrele(1,i)= round(ctip(1,i)*100)/100;
    ip(1,i)=ct(1,i)*ctrele(1,i);
    end
end
if kv(1,i-1) >= kv(1,i)
    CTI = input('Masukkan nilai CTI yang diinginkan : ');

```

```

end
%% Kurva IEC Standard Inverse
a=a+1; % Nomor Rele
b=1; % Nomor Kode Kurva Rele
% Perhitungan Nilai TDS - IEC Standard Inverse (1)
if iscsek(1,i) >= 20*ip(1,i)
zz(b) = 20*ip(1,i)/ip(1,1);
xx(b) = zz(b).^aN1;
cc(b) = xx(b)-1;
vv(b) = cc(b)*bN1;
tdreleN = (kN1*TDS)/vv(b);
else
zz(b) = iscsek(1,i)/ip(1,i);
xx(b) = zz(b).^aN1;
cc(b) = (xx(b))-1;
vv(b) = cc(b)*bN1;
tdreleN = (kN1*TDS)/vv(b);
end
% Mencari Waktu Operasi 0.1 Pada Gangguan Sisi Primer
if iscp(1,i) >= 20*ip(1,i)
zzf(b) = 20*ip(1,i)/ip(1,i);
xxf(b) = zzf(b).^aN1;
ccf(b) = (xxf(b))-1;
vvf(b) = ccf(b)*bN1;
TDSf(a,b) = (0.1*vvf(b))/kN1;
else
zzf(b) = iscp(1,i)/ip(1,i);
xxf(b) = zzf(b).^aN1;
ccf(b) = (xxf(b))-1;
vvf(b) = ccf(b)*bN1;
TDSf(a,b) = (0.1*vvf(b))/kN1;
end
% Mencari Waktu Operasi Minimum Rele N dengan Gangguan Pada Sisi Rele
% N-1
tdfrele(a,b) = (kN1*TDSf(a,b))/vv(b);
% Mencari Batas Kriteria Proteksi Gangguan pada R1 dan R2
matrixmaxrele = [tdfrele(a,b), tfaultN(a-1)];
maxtdrele = max(matrixmaxrele,[],2);
% Mencari Nilai Terdekat Dari 0.2 + Waktu Operasi Rele 1
(Jika level
% tegangan sama); Jika level tegangan beda reset jadi 0.1!
if kv(1,i-1) >= kv(1,i)
tdN = (tdreleN-(CTI+tfaultN(a-1)));
mintd(a,b) = min(tdN(tdN>0)); %Mencari Error Terkecil
nilaimintd(a,b) = ((CTI+tfaultN(a-1))+mintd(a,b)); %Mencari Waktu Operasi Rele
else
tdN = (tdreleN-maxtdrele);
mintd(a,b) = min(tdN(tdN>0)); %Mencari Error Terkecil

```

```

nilaimintd(a,b) = (maxtdrele+mintd(a,b)); %Mencari Waktu
Operasi Rele
end

if kurvaN == 1
TDSreleN(a,b) = round(((nilaimintd(a,b)*vv(b))/(kN1)),1);
else if kurvaN == 2
TDSreleN(a,b) = round(((nilaimintd(a,b)*vv(b))/(kN1)),2);
end
end
% Mencari Waktu Kerja Rele N Sebagai Rele Primer
tfault(a,b) = (TDSreleN(a,b)*kN1)/vvf(b);
%% Kurva IEC Very Inverse
b=b+1;
% Perhitungan Nilai TDS - IEC Very Inverse (2)
if iscsek(1,i) >= 20*ip(1,i)
zz(b) = 20*ip(1,i)/ip(1,1);
xx(b) = zz(b).^aN2;
cc(b) = xx(b)-1;
vv(b) = cc(b)*bN2;
tdreleN = (kN2*TDS)/vv(b);
else
zz(b) = iscsek(1,i)/ip(1,i);
xx(b) = zz(b).^aN2;
cc(b) = (xx(b))-1;
vv(b) = cc(b)*bN2;
tdreleN = (kN2*TDS)/vv(b);
end
% Mencari Waktu Operasi 0.1 Pada Gangguan Sisi Primer
if iscp(1,i) >= 20*ip(1,i)
zzf(b) = 20*ip(1,i)/ip(1,i);
xxf(b) = zzf(b).^aN2;
ccf(b) = (xxf(b))-1;
vvf(b) = ccf(b)*bN2;
TDSf(a,b) = (0.1*vvf(b))/kN2;
else
zzf(b) = iscp(1,i)/ip(1,i);
xxf(b) = zzf(b).^aN2;
ccf(b) = (xxf(b))-1;
vvf(b) = ccf(b)*bN2;
TDSf(a,b) = (0.1*vvf(b))/kN2;
end
% Mencari Waktu Operasi Minimum Rele N dengan Gangguan Pada
Sisi Rele
% N-1
tdfrele(a,b) = (kN2*TDSf(a,b))/vv(b);
% Mencari Batas Kriteria Proteksi Gangguan pada R1 dan R2
matrixmaxrele = [tdfrele(a,b), tfaultN(a-1)];
maxtdrele = max(matrixmaxrele,[],2);

```

```

% Mencari Nilai Terdekat Dari 0.2 + Waktu Operasi Rele 1
(Jika level
% tegangan sama); Jika level tegangan beda reset jadi 0.1!
if kv(1,i-1) >= kv(1,i)
tdN = (tdreleN-(CTI+tfaultN(a-1)));
mintd(a,b) = min(tdN(tdN>0)); %Mencari Error Terkecil
nilaimintd(a,b) = ((CTI+tfaultN(a-1))+mintd(a,b)); %Mencari
Waktu Operasi Rele
else
tdN = (tdreleN-maxtdrele);
mintd(a,b) = min(tdN(tdN>0)); %Mencari Error Terkecil
nilaimintd(a,b) = (maxtdrele+mintd(a,b)); %Mencari Waktu
Operasi Rele
end
if kurvaN == 1
TDSreleN(a,b) = round(((nilaimintd(a,b)*vv(b))/(kN2)),1);
else if kurvaN == 2
TDSreleN(a,b) = round(((nilaimintd(a,b)*vv(b))/(kN2)),2);
end
end
% Mencari Waktu Kerja Rele N Sebagai Rele Primer
tfault(a,b) = (TDSreleN(a,b)*kN2)/vvf(b);
%% Kurva IEC Ultra Inverse
b=b+1;
% Perhitungan Nilai TDS - IEC Ultra/Long Time Inverse (3)
if iscsek(1,i) >= 20*ip(1,i)
zz(b) = 20*ip(1,i)/ip(1,1);
xx(b) = zz(b).^aN3;
cc(b) = xx(b)-1;
vv(b) = cc(b)*bN3;
tdreleN = (kN3*TDS)/vv(b);
else
zz(b) = iscsek(1,i)/ip(1,i);
xx(b) = zz(b).^aN3;
cc(b) = (xx(b))-1;
vv(b) = cc(b)*bN3;
tdreleN = (kN3*TDS)/vv(b);
end
% Mencari Waktu Operasi 0.1 Pada Gangguan Sisi Primer
if iscprim(1,i) >= 20*ip(1,i)
zzf(b) = 20*ip(1,i)/ip(1,i);
xxf(b) = zzf(b).^aN3;
ccf(b) = (xxf(b))-1;
vvf(b) = ccf(b)*bN3;
TDSf(a,b) = (0.1*vvf(b))/kN3;
else
zzf(b) = iscprim(1,i)/ip(1,i);
xxf(b) = zzf(b).^aN3;
ccf(b) = (xxf(b))-1;
vvf(b) = ccf(b)*bN3;

```



```

TDSf(a,b) = (0.1*vvf(b))/kN3;
end

% Mencari Waktu Operasi Minimum Rele N dengan Gangguan Pada
Sisi Rele
% N-1
tdfrele(a,b) = (kN3*TDSf(a,b))/vv(b);
% Mencari Batas Kriteria Proteksi Gangguan pada R1 dan R2
matrixmaxrele = [tdfrele(a,b), tfaultN(a-1)];
maxtdrele = max(matrixmaxrele,[],2);
% Mencari Nilai Terdekat Dari 0.2 + Waktu Operasi Rele 1
(Jika level
% tegangan sama); Jika level tegangan beda reset jadi 0.1!
if kv(1,i-1) >= kv(1,i)
    tdN = (tdreleN-(CTI+tfaultN(a-1)));
    mintd(a,b) = min(tdN(tdN>0)); %Mencari Error Terkecil
    nilaimintd(a,b) = ((CTI+tfaultN(a-1))+mintd(a,b)); %Mencari
Waktu Operasi Rele
else
    tdN = (tdreleN-maxtdrele);
    mintd(a,b) = min(tdN(tdN>0)); %Mencari Error Terkecil
    nilaimintd(a,b) = (maxtdrele+mintd(a,b)); %Mencari Waktu
Operasi Rele
end
if kurvaN == 1
    TDSreleN(a,b) = round(((nilaimintd(a,b)*vv(b))/(kN3)),1);
else if kurvaN == 2
    TDSreleN(a,b) = round(((nilaimintd(a,b)*vv(b))/(kN3)),2);
end
end
% Mencari Waktu Kerja Rele N Sebagai Rele Primer
tfault(a,b) = (TDSreleN(a,b)*kN3)/vvf(b);
%% Kurva IEC Extremely Inverse
b=b+1;
if iscsek(1,i) >= 20*ip(1,i)
    zz(b) = 20*ip(1,i)/ip(1,1);
    xx(b) = zz(b).^aN4;
    cc(b) = xx(b)-1;
    vv(b) = cc(b)*bN4;
    tdreleN = (kN4*TDS)/vv(b);
else
    zz(b) = iscsek(1,i)/ip(1,i);
    xx(b) = zz(b).^aN4;
    cc(b) = (xx(b))-1;
    vv(b) = cc(b)*bN4;
    tdreleN = (kN4*TDS)/vv(b);
end
% Mencari Waktu Operasi 0.1 Pada Gangguan Sisi Primer
if iscp(1,i) >= 20*ip(1,i)

```

```

zzf(b) = 20*ip(1,i)/ip(1,i);
xxf(b) = zzf(b).^aN4;
ccf(b) = (xxf(b))-1;
vvf(b) = ccf(b)*bN4;
TDSf(a,b) = (0.1*vvf(b))/kN4;
else
zzf(b) = iscprim(1,i)/ip(1,i);
xxf(b) = zzf(b).^aN4;
ccf(b) = (xxf(b))-1;
vvf(b) = ccf(b)*bN4;
TDSf(a,b) = (0.1*vvf(b))/kN4;
end
% Mencari Waktu Operasi Minimum Rele N dengan Gangguan Pada
Sisi Rele
% N-1
tdfrele(a,b) = (kN4*TDSf(a,b))/vv(b);
% Mencari Batas Kriteria Proteksi Gangguan pada R1 dan R2
matrixmaxrele = [tdfrele(a,b), tfaultN(a-1)];
maxtdrele = max(matrixmaxrele,[],2);
% Mencari Nilai Terdekat Dari 0.2 + Waktu Operasi Rele 1
(Jika level
% tegangan sama); Jika level tegangan beda reset jadi 0.1!
if kv(1,i-1) >= kv(1,i)
tdN = (tdreleN-(CTI+tfaultN(a-1)));
mintd(a,b) = min(tdN(tdN>0)); %Mencari Error Terkecil
nilaimintd(a,b) = ((CTI+tfaultN(a-1))+mintd(a,b)); %Mencari
Waktu Operasi Rele
else
tdN = (tdreleN-maxtdrele);
mintd(a,b) = min(tdN(tdN>0)); %Mencari Error Terkecil
nilaimintd(a,b) = (maxtdrele+mintd(a,b)); %Mencari Waktu
Operasi Rele
end
if kurvaN == 1
TDSreleN(a,b) = round(((nilaimintd(a,b)*vv(b))/(kN4)),1);
else if kurvaN == 2
TDSreleN(a,b) = round(((nilaimintd(a,b)*vv(b))/(kN4)),2);
end
end
% Mencari Waktu Kerja Rele N Sebagai Rele Primer
tfault(a,b) = (TDSreleN(a,b)*kN4)/vvf(b);
%% Mencari Nilai Setting Rele ke-2 Sampai Rele ke-N
% Mencari Nilai Minimum Rele 2
mintdrele(a) = min(nilaimintd(a,:));
ipb(1,i)=ip(1,i)*kv(1,i)/kv(1,1);
In{i}=ipb(1,i):1:20*ipb(1,i);
% tfaultN(a) = min(tfault(a,:));
disp('%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%');
if mintdrele(a) == nilaimintd(a,1)
tfaultN(a) = tfault(a,1);

```

```

TDSminreleN = TDSreleN(a,1);
disp(['Kurva Rele ' num2str(i) ' = IEC Standard Inverse']);
realgraf{i} =
(kN1*TDSminreleN)./((((In{i})/((ip(1,a))*(kv(1,i)/kv(1,1)))).
^aN1)-1)*bN1);
satgraf(i) =
(kN1*TDSminreleN)./((((20*ipb(1,a)/((ip(1,a))*(kv(1,i)/kv(1,
1))))).^aN1)-1)*bN1);
else if mintdrele(a) == nilaimintd(a,2)
tfaultN(a) = tfault(a,2);
TDSminreleN = TDSreleN(a,2);
disp(['Kurva Rele ' num2str(i) ' = IEC Very Inverse']);
realgraf{i} =
(kN2*TDSminreleN)./((((In{i})/((ip(1,a))*(kv(1,i)/kv(1,1)))).
^aN2)-1)*bN2);
satgraf(i) =
(kN2*TDSminreleN)./((((20*ipb(1,a)/((ip(1,a))*(kv(1,i)/kv(1,
1))))).^aN2)-1)*bN2);
else if mintdrele(a) == nilaimintd(a,3)
tfaultN(a) = tfault(a,3);
TDSminreleN = TDSreleN(a,3);
disp(['Kurva Rele ' num2str(i) ' = IEC Ultra Inverse/Long
Time Inverse']);
realgraf{i} =
(kN3*TDSminreleN)./((((In{i})/((ip(1,a))*(kv(1,i)/kv(1,1)))).
^aN3)-1)*bN3);
satgraf(i) =
(kN3*TDSminreleN)./((((20*ipb(1,a)/((ip(1,a))*(kv(1,i)/kv(1,
1))))).^aN3)-1)*bN3);
else if mintdrele(a) == nilaimintd(a,4)
tfaultN(a) = tfault(a,4);
TDSminreleN = TDSreleN(a,4);
disp(['Kurva Rele ' num2str(i) ' = IEC Extremely Inverse']);
realgraf{1} =
(kN4*TDSminreleN)./((((In{i})/((ip(1,a))*(kv(1,i)/kv(1,1)))).
^aN4)-1)*bN4);
satgraf(i) =
(kN4*TDSminreleN)./((((20*ipb(1,a)/((ip(1,a))*(kv(1,i)/kv(1,
1))))).^aN4)-1)*bN4);
end
end
end
disp(['Nilai TDS Rele ' num2str(a) ' yang harus disetting
adalah : ' num2str(TDSminreleN)]);
disp(['Nilai Tap CT Rele ' num2str(a) ' yang harus disetting
adalah : ' num2str(ctrele(1,i)) ]);
disp(['Waktu Kerja Rele ' num2str(a) ' adalah (s) :']);
disp(['Backup : ' num2str(mintdrele(a)) ' detik '
'Primer : ' num2str(tfaultN(a)) ' detik']);

```

```

disp('%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%');

% Plot Kurva Koordinasi Proteksi
minlen = min([length(realgraf{i-1}), length(realgraf{i}),
length(I)]);
figure;
t = [0.01 1000];
f1 = [iscprim(1,i-1)*(kv(1,i-1)/kv(1,1)) iscprim(1,i-
1)*(kv(1,i-1)/kv(1,1))];
f2 = [iscsek(1,i)*(kv(1,i)/kv(1,1))
iscsek(1,i)*(kv(1,i)/kv(1,1))];
ysat1 = [satgraf(i-1) satgraf(i-1)];
xsat1 = [20*ipb(1,i-1) 100000];
ysat2 = [satgraf(i) satgraf(i)];
xsat2 = [20*ipb(1,i) 100000];
kurva=loglog(In{i-1}
,realgraf{i-1},'r',In{i},realgraf{i},'b'); hold on;
set(kurva,'linewidth',1.5);
kurva=loglog(f1,t,'-r',f2,t,'-b'); hold on;
kurva=loglog(xsat1,ysat1,'r',xsat2,ysat2,'b');
set(kurva,'linewidth',1.5);
ax=gca;
grid on;
ax.XTick=[10 30 50 100 300 500 1000 3000 5000 10000 30000
50000 100000];
ax.YTick=[0.1 0.3 0.5 1 3 5 10 30 50 100 300 500 1000];
ylim([0 1000]);
xlim([0 100000]);
legend(['Kurva Rele ' num2str(i-1)],['Kurva Rele '
num2str(i)],['Arus Gangguan Rele ' num2str(i-1)],['Arus
Gangguan Rele ' num2str(i)']);
xlabel ('Current (A)');
ylabel ('Time');
title(['Koordinasi Proteksi Arus Lebih Inverse || Base kV : '
num2str(kv(1,1)) 'kV']);
i=i+1;
end
end
%% Jika ada pertanyaan mengenai program, hubungi penulis.

```

## BIODATA PENULIS



**Aditya Indrasaputra**, dilahirkan di Jakarta pada 8 Januari 1996. Merupakan anak ketiga dari pasangan suami istri Bapak Bonaventura Bambang Saptardjo dan Ibu Chatarina Endah Winarti. Masa kecil penulis dihabiskan di kota Depok, dimana penulis menuntut ilmu di TK-SD-SMP Mardi Yuana Depok, Jawa Barat. Kemudian di jenjang SMA penulis melanjutkan sekolah di SMA Kolese Gonzaga Jakarta. Setelah menyelesaikan masa SMA, penulis melanjutkan pendidikan ke S1 Teknik Elektro ITS, Surabaya. Pada masa awal perkuliahan penulis sangat suka berjalan-jalan mengelilingi kota Surabaya dan mengeksplorasi keindahan Jawa Timur. Penulis juga merupakan asisten di Laboratorium Instrumentasi Pengukuran dan Identifikasi Sistem Tenaga (LIPIST) B204. Disamping kegiatan akademik, penulis juga aktif di kegiatan kemahasiswaan baik itu Himpunan Mahasiswa, Tim Kaderisasi, dan juga kegiatan pengembangan diri lainnya. Penulis juga merupakan *awardee* di XL Future Leaders Batch 5. Selama mengikuti kegiatan kemahasiswaan penulis pernah aktif sebagai Staff Hubungan Luar HIMATEKTRO, Staff Ahli Hubungan Luar HIMATEKTRO, *Instructor Committee* Kaderisasi HIMATEKTRO, dan anggota *event* baik itu Electra, Baronas, ataupun EE Event. Penulis juga mengikuti berbagai pelatihan *softskill* ataupun *hardskill*, mulai dari LKMM Pra-TD hingga Pelatihan ETAP dan MATLAB. Penulis dapat dihubungi melalui email [gaindrasaputra@gmail.com](mailto:gaindrasaputra@gmail.com).